

Kinderklinik der Universität Düsseldorf
Direktor

PROF. DR. E. SCHMIDT

Ein Beitrag
zur Messung der Pulswellenlaufzeit

Dissertation zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Medizin, Der Medizinischen
Fakultät der Universität Düsseldorf vorgelegt
von

ULRICH SONS

- 1977 -

1979

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan der
Medizinischen Fakultät der
Universität Düsseldorf

gez. : Prof. Dr. A. Hopf

Referent

gez. : Prof. Dr. U. Göbel

Korreferent

gez. : Prof. Dr. G. Arnold

Ein Beitrag
zur Messung der Pulswellenlaufzeit

von

Ulrich Sons

- 1977 -



GLIEDERUNG

1. EINLEITUNG

- 1.1. Zur Physiologie der Pulswellenlaufzeit
- 1.2. Bisher beschriebene Verfahren der Pulswellen =
laufzeit - Messung
- 1.3. Einflüsse auf die Pulswellenlaufzeit
 - 1.3.1. Alter
 - 1.3.2. Trainingszustand
 - 1.3.3. Blutdruck
 - 1.3.4. Pathologische Gefäßveränderungen
- 1.4. Aufgabenstellung

2. MESSGERÄT , METHODIK UND PROBANDENGUT

- 2.1. Beschreibung des Meßgerätes für die Pulswel =
lenlaufzeit
- 2.2. Methodik und Probandengut

3. ERGEBNISSE

- 3.1. Pulswellenlaufzeit, Blutdruck und Pulsfrequenz
in Abhängigkeit von der Körperhaltung der
Probanden
- 3.2. Pulswellenlaufzeit, Blutdruck und Pulsfrequenz
unter körperlicher Belastung der Probanden
- 3.3. Meßverfahren und Artefakte

4. DISKUSSION

- 4.1. Pulswellenlaufzeit, Blutdruck und Pulsfrequenz
in Abhängigkeit von der Körperhaltung der
Probanden
 - 4.1.1. Pulswellenlaufzeit
 - 4.1.2. Pulsfrequenz
 - 4.1.3. Blutdruck
- 4.2. Pulswellenlaufzeit, Blutdruck und Pulsfrequenz
unter körperlicher Belastung der Probanden
- 4.3. Die Problematik der Pulswellenlaufzeit -
Messung
 - 4.3.1. Vergleich der Meßergebnisse mit Angaben aus
der Literatur

- 4.3.2. Meßtechnische Schwierigkeiten
- 4.3.2.1. Die R - Zacke
- 4.3.2.2. Die periphere Pulsregistrierung
- 4.3.3. Verschiedene Pulsarten

5. ZUSAMMENTFASSUNG

6. ANHANG

7. LITERATURVERZEICHNIS

Für die orientierende Beurteilung der Funktion des Herzens und des Kreislaufes beim Menschen stehen verschiedene Methoden zur Verfügung . Zu ihnen werden neben einer Beurteilung von Atmung und Hautcolorit als einfach durchführbare Tests die Pulszählung und die Blutdruckmessung gerechnet . Darüber hinaus kann mit aufwendigeren Untersuchungsverfahren , wie Röntgen - Diagnostik , Elektrokardiographie , Vektorkardiographie , Phonokardiographie , Herzsondierung , blutiger Blutdruckmessung und Gas - Partialdruckmessung , eine spezifische Abklärung vorhandener Störungen durchgeführt werden .

Die unblutige , auskultatorische Blutdruckmessung nach Riva - Rocci stellt im physikalischen Sinne keine objektive Meßmethode dar , weil sie im besonderen Maße subjektiven Einflüssen von Seiten des Untersuchers unterliegt . Aufgrund des unterschiedlichen Hörvermögens durch den Untersucher und Einflüssen von Seiten der Blutdruckmanschette und des dazugehörigen Manometers schwanken der systolische Blutdruckwert um ca. 10 mm Hg und der diastolische zwischen 10 - 30 mm Hg . Wegen ihrer leichten Anwendbarkeit und ihrer großen klinischen Aussagekraft wird die unblutige Blutdruckmessung nach wie vor weit verbreitet angewandt . Bei Säuglingen und Kleinkindern unterliegt die Durchführung dieser Untersuchung gewissen Schwierigkeiten , da die Messung als solche stark vom Armmfang abhängig ist .

Es ist deshalb einsehbar , daß bereits andere Meßverfahren zur "objektiven" Erfassung der Kreislaufsituation versucht wurden . Ein solches Verfahren stellt die Messung der Pulswellenlaufzeit dar , die in einer direkten Beziehung zum mittleren Blutdruck stehen soll (43) .

1.1. Zur Physiologie der Pulswellenlaufzeit

Das Blut , das während der Systole in die Aorta aus =
geworfen wird , treibt nicht nur das in den Blutgefäßen
befindliche Blut vorwärts , sondern es ruft auch eine
sich fortpflanzende Druckwelle hervor , die zu einer
vorübergehenden Dehnung der Arterienwand führt und als
Puls bezeichnet wird . Diese Pulswelle pflanzt sich mit
einer bestimmten definierten Geschwindigkeit in Form
einer Schlauchwelle im arteriellen Gefäßsystem fort .

Die Pulswellenlaufzeit ist die Zeit , die die Puls =
welle zur Zurücklegung der Strecke zwischen einer herz =
nahen und einer herzfernen Arterie benötigt . Sie kann
durch eine gleichzeitige Registrierung der Drucke in ver =
schiedenen Arterien dargestellt werden .

Die Pulswellengeschwindigkeit berechnet sich nach der
Formel $\text{Geschwindigkeit} = \text{Weg} / \text{Zeit}$. Als Weg gilt die
durchlaufene Arterienstrecke , die durch Projektionspunkte
an der Körperoberfläche grob festgelegt wird .

Die Pulswellengeschwindigkeit ist abhängig von der
Elastizität der Gefäßwand , dem Verhältnis Wanddicke /
Gefäßradius und auch vom Blutdruck , nicht aber von der
Strömungsgeschwindigkeit des Blutes . Die Pulswellenge =
schwindigkeit ist demnach eine wichtige Größe , aus der
sich Rückschlüsse auf das elastische Verhalten der Arte =
rien ziehen lassen .

FRANK hatte 1920 einige Parameter für eine Beurtei =
lung der Arterienelastizität genannt (16) :

1. den diastolischen Arterienradius (D) ,
2. die pulsatorischen Änderungen des Gefäßradius (ΔD),
3. die Blutdruckamplitude (ΔP) .

Der Elastizitätskoeffizient E' (dyn/cm^2) eines elastischen
Hohlkörpers ist gegeben durch das Verhältnis einer Druck =
änderung (ΔP) zu einer Volumenänderung (ΔV) (16) :

$E' = \Delta P / \Delta V$. Der Volumenelastizitätskoeffizient E' gibt also darüber Auskunft , "wie leicht oder schwer - gemessen an dem damit verbundenen Druckanstieg - ein Gefäßabschnitt ein bestimmtes zusätzliches Volumen aufnehmen kann " (21) .

Das elastische Verhalten der Volumeneinheit wird vom Volumenelastizitätsmodul (x) beschrieben (16 , 55) :

$$x = \Delta P \cdot V / \Delta V = E' \cdot V \text{ (dyn } \cdot \text{ cm}^2 \text{)} .$$

Die Bedeutung dieses Volumenelastizitätsmoduls besteht vor allem darin , daß diese Größe in einfacher Beziehung zur Pulswellengeschwindigkeit (= PWG) steht :

$$x = \text{PWG}^2 \cdot d \text{ (d = Massendichte)} .$$

Diesen Zusammenhang der " Verknüpfung von Wellen - und Elastizitätslehre " hatten die Brüder L.H. und W. WEBER bereits vor über einhundert Jahren erkannt (zit. n. 55) . Aus diesen Beobachtungen ergab sich eine methodische Möglichkeit , aus der Pulswellengeschwindigkeit auf unblutigem Wege auf die Elastizität der Arterien zu schließen (57) . Die Schwierigkeiten dieser Methode bestehen nach BRÖMSER und Mitarbeitern darin , daß der Elastizitätsmodul der Gefäßwand zwar mit zunehmender Dehnung steigt und die Pulswellengeschwindigkeit im allgemeinen zusammen mit dem Druck wächst , dieser Zusammenhang jedoch durch eine Änderung des Kontraktionszustandes der Gefäßmuskulatur kompliziert wird (7) .

Aus dieser Abhängigkeit von der Elastizität der Gefäßwand ergibt sich eine wesentliche Bedeutung der Pulswellenlaufzeit : Zusammen mit der Pulsform läßt sie unter Berücksichtigung von Blutdruck und Lebensalter Rückschlüsse auf den Spannungszustand , den Tonus der großen Arterien, zu .

1.2. Bisher beschriebene Verfahren der Pulswellen - laufzeit - Messung

Eine Voraussetzung für die Messung der Pulswellen -
laufzeit ist u.a. die artefaktfreie periphere Pulsabnah -
me . Dazu existieren verschiedene Verfahren :

1. Optisches Registriersystem nach MAREY (30) und
FRANK (15) (FRANK ' scher Lufttransmissions -
sphygmograph) . Eine luftdichte, mit einer Gummi -
membran bespannte MAREY ' sche Kapsel wird auf die
Schlagader aufgesetzt . Die durch den Puls ent -
stehenden Luftdruckschwankungen werden über einen
Gummischlauch auf eine ähnliche gummiüberspannte
Kapsel übertragen , die auf ihrer Membran einen
Spiegel trägt . Dieser Spiegel empfängt einen
Lichtstrahl aus einer Spaltlampe und reflektiert
ihn auf den Registrierfilm . Die durch den Puls
ausgelösten Druckschwankungen bewirken entspre -
chende Spiegelbewegungen .
2. Luftdruckschwankungen im Pulsfühler werden auf
piezoelektrische Quarze geleitet , deren Wider -
stand sich mit dem Druck ändert . Die Piezoelek -
trizität beruht auf der elektrischen Aufladung
mancher Kristalle durch mechanischen Druck .
Dadurch kann ein Galvanometer oder ein Kathoden -
strahl gelenkt werden .
3. Elektrostatisches Meßverfahren nach BOUCKE und
BRECHT (Infraton - System) (5) . Die durch den
Arterienpuls ausgelösten Druckschwankungen werden
über einen starren Fühler auf eine elastische de -
formierbare Kondensatorwicklung übertragen .
4. Photozellen - Prinzip . Durch die Arterienpulsa -
tionen werden wechselnde Schatten auf die Photo -
zelle geworfen . Diese Lichtschwankungen werden in
Stromschwankungen umgewandelt . Dieses Prinzip der
Pulsregistrierung ist bei den

Arterien des Ohrläppchens speziell zur Messung der Pulswellenlaufzeit bzw. der Pulswellengeschwindigkeit noch nicht angewandt worden .

1.3. Einflüsse auf die Pulswellenlaufzeit

1.3.1. Alter

Mit dem Alter nimmt die Pulswellenlaufzeit ab , bzw. die Pulswellengeschwindigkeit zu (6 , 42) . Eine gleichgroße Blutdrucksteigerung führt bei jüngeren zu einem geringeren Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit im Gegensatz zu älteren Menschen (43) . Verantwortlich gemacht werden ein zunehmender bindegewebiger Umbau (8) und eine gleichzeitige Muskulaturabnahme in der Gefäßwand mit daraus resultierendem Elastizitätsverlust (42 , 56 , 58) .

Eine relativ hohe Pulswellengeschwindigkeit liegt im frühen Kindesalter (bis zwei Jahre) vor (22 , 23) . KEUTH und PEUSQUENS (27) , MORO (35) sowie VAN DER HOEVEN e.a. (50) haben niedrigere Pulswellengeschwindigkeiten im späteren Kleinkind- und Schulalter und einen Wiederanstieg bis zu den höheren Werten des Erwachsenen nachgewiesen .

1.3.2. Trainingszustand

Wie MELLEROWICZ und PETERMANN nachwiesen , ist der Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit mit dem Alter bei gut trainierten Sportlern geringer als bei untrainierten Personen (34) . Sie vermuteten , daß die niedrigen auf das Alter bezogenen Werte der Pulswellengeschwindigkeit beim Trainierten durch die längere Erhaltung eines geringen Elastizitätsmoduls der Arterienwand bedingt sind . Eine Erhöhung der Aktivität der Gefäßmuskulatur scheint die plausibelste Erklärung für eine Abnahme der Pulswel =

lengeschwindigkeit sowohl bei älteren wie bei jungen Sportlern gegenüber Nichttrainierten zu sein (43) .

1.3.3. Blutdruck

Dem Zusammenhang zwischen der Pulswellengeschwindigkeit und dem Blutdruck wurde bereits in früheren Untersuchungen nachgegangen (14 , 42 , 46 , 47 , 48 , 49 , 55 , 57 , 59) . Im Tierversuch und beim Menschen nimmt die Pulswellengeschwindigkeit annähernd linear mit dem Druck zu (7 , 57) . In der Literatur werden verschiedene Werte für den Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit pro 10 mm Hg Blutdrucksteigerung angegeben . Sie liegen zwischen 0,30 m/sec (7) und 0,80 m/sec (57) . Wie Querschnittsuntersuchungen ergaben , beträgt im Schnitt der Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit vor dem 50. Lebensjahr ca. 0,30 m/sec pro 10 mm Hg Blutdruck = steigerung , nach dem 50. Lebensjahr ca. 0,50 m/sec (40) .

Die Ergebnisse einer Langzeitstudie an 183 Normotonikern zeigen , daß die Pulswellengeschwindigkeit in 78 % der Fälle mit dem mittleren Blutdruck steigt und fällt , d.h. sich konkordant verhält . In 22 % der Fälle ver = hält sich die Pulswellengeschwindigkeits - Änderung diskordant zur Mitteldruck - Änderung . Die Änderung der Pulswellengeschwindigkeit pro 10 mm Hg Druckänderung ist zudem abhängig von der Richtung der Blutdruckänderung . Bei Zunahme des Blutdrucks sind die Änderungen der Puls = wellengeschwindigkeit geringer als bei Abnahme des Blut = drucks .

1.3.4. Pathologische Gefäßveränderungen.

Es ist bekannt , daß bei sklerosierten Gefäßen die Pulswellengeschwindigkeit pathologisch erhöht ist . Einige Autoren bezweifeln jedoch die praktische Bedeu =

tung dieses Befundes (18 , 32) . Sie hatten bei Patienten mit obliterierender Arteriosklerose sowohl eine erhöhte , als auch eine normale Pulswellengeschwindigkeit gefunden . CACHOVAN kommt zu dem Resultat , daß die Messung der Pulswellengeschwindigkeit am Bein zumindest in den Frühstadien der peripheren Arteriosklerose ohne ein geschränktes Gefäßlumen zuverlässige Ergebnisse bringt (10) . Eine wichtige Voraussetzung sei die segmentäre Meßanordnung . Bei fortgeschrittenen arteriosklerotischen Gefäßveränderungen verlöre jedoch die segmentäre Messung der Pulswellengeschwindigkeit an ihrer diagnostischen Aussagekraft .

SCHIMMLER und HOOFFACKER meinen , daß die Pulswellengeschwindigkeit und ihre Änderungsweise pro 10 mm Hg Blutdruckänderung vielschichtige Größen seien . Ein Normalwert könne keinesfalls das Vorliegen einer morphologisch faßbaren , wohl aber einer funktionellen Sklerose ausschließen . Eine erhöhte Pulswellengeschwindigkeit bei normalem Blutdruck sei jedoch meist ein Hinweis auf eine Gefäßerkrankung (43) .

1.4. Aufgabenstellung

Es war die Aufgabe gestellt , mit dem Prototyp eines neu entwickelten Meßgerätes die Pulswellenlaufzeit zu messen und ihre Beziehungen zum Blutdruck und zur Pulsfrequenz zu untersuchen . Die kontinuierliche Messung der Pulswellenlaufzeit ließ eine Antwort auf die Frage erwarten , ob sich dieses Meßverfahren aufgrund einer eventuell vorhandenen direkten Korrelation zwischen Pulswellenlaufzeit und Blutdruck für eine objektive und kontinuierliche Blutdruckmessung eignete . In der Pädiatrie hätte es sich somit besonders für die Dauerüberwachung von Säuglingen und Kleinkindern mit instabilen Kreislaufverhältnissen - z.B. auf Intensivpflegestationen - angeboten .

2. MESSGERÄT , METHODIK UND PROBAN ENGUT

2.1. Beschreibung des Meßgerätes für die Pulswellen = laufzeit

Die technischen Daten des Meßgerätes für die Pulswellen = laufzeit sind dem Forschungsbericht Nr. F 4-76/06 der VOLKSWAGEN AG - Forschung entnommen .

Mit einem neuen Prototyp des Gerätes der Firma VOLKS = WAGEN AG (siehe Abb. 1) wurden die Pulswellenlaufzeit (= PWZ) und die Herz - Frequenz gemessen und kontinuierlich mit einem Zweikanalschreiber der Firma LINSEIS auf = gezeichnet . Als Pulswellenlaufzeit wurde die Zeit ver = wertet , die jede Pulswelle vom Herz bis zum Ohrläppchen benötigte . Die R - Zacke des Elektrokardiogramms diente als der eine Fixpunkt der Meßstrecke , da sie in den be = ginnenden Ventrikel - Druckanstieg fällt (44) . Während die Vorhof - Systole nach der P - Welle des EKG's beginnt , fängt die Ventrikel - Systole rahe dem Ende der R - Zacke an und dauert bis kurz nach der T - Welle . Somit liegt die R - Zacke zeitlich kurz und konstant vor dem Losschießen der Pulswelle . Als zweiter Fixpunkt war die ankommende Pulswelle im Ohr definiert , die durch einen am Ohrläppchen angeklebten photosensiblen Pulsabnehmer abgeleitet wurde .

Eine analoge Differenzierung des EKG - Kurvenverlaufs ermöglichte die sichere Ermittlung der R - Zacke aufgrund ihrer wesentlich größeren Anstiegsgeschwindigkeit gegenüber den anderen abgenommenen Aktionspotentialen . Ein monosta = biler Multivibrator erzeugte für jede R - Zacke ein Recht = ecksignal von 250 msec Dauer und 10 V Gleichspannung (= Trig = gerung) . Dadurch sollten Störungen durch Bewegungsarte = fakte weitgehend vermieden werden . Der Beginn des Blut = druck - Anstieges im Ohrläppchen wurde durch analoges zweimaliges Differenzieren nach der Zeit getriggert . Für jeden Druckanstieg wurde wieder ein Rechteckimpuls von



Abb. 1 Meßgerät für die Pulswellenlaufzeit mit
angeschlossenem Zweikanalschreiber

250 msec Dauer und 10 V Gleichspannung erzeugt . Diese beiden Rechteckimpulse wurden voneinander subtrahiert und anschließend gleichgerichtet . Für den Fall , daß die Pulswellengeschwindigkeit unendlich zugenommen bzw. die Pulswellenlaufzeit 0 betragen hätte , wären die bei = den Rechteckimpulse (EKG und Ohr) zum gleichen Zeit = punkt erschienen , und das gleichgerichtete Rechteck = signal wäre nicht meßbar gewesen . In einer Integrator = schaltung wurde die Häufigkeit und die Dauer der Rechteck = impulse in der Zeiteinheit bewertet und eine Gleichspan = nung erzeugt , die somit dem Produkt Pulswellenlaufzeit mal Pulsfrequenz analog war . Aus den Rechteckimpulsen des EKG und des Ohrpulses wurde mit je einer als Tief = paßfilter ausgebildeten Integratorschaltung die Puls = frequenz ermittelt . Wahlweise konnte die EKG - Frequenz oder die Frequenz des Ohrpulses angezeigt werden .

Das EKG war in einer bipolaren Brustwandableitung aufgenommen worden . Ein in dem Meßgerät eingebauter EKG - Verstärker verstärkte das EKG 200 - fach im Bereich von 6 - 200 Hz . Der Verstärkereingang war sehr hochohmig und rückwirkungsfrei auf den Probanden . An der Buchse EKG konnte das EKG mit einem Oszillograph oder einem Schreiber sichtbar gemacht werden . Ein EKG - Verstär = kungsregler ermöglichte eine Anpassung des EKG an die Auswerteeinheit, die die aus dem EKG errechnete Puls = frequenz auf dem Instrument 'Pulsfrequenz' anzeigte , wenn der Wählschalter auf 'PF' stand . Das EKG war dann richtig angepaßt, wenn die Leuchtdiode 'EKG' im Takt der EKG - Frequenz blinkte . Es erwies sich als günstig , den Regler vom linken Anschlag so weit nach rechts zu drehen , bis die Leuchtdiode zu blinken begann .

Die Ohrpulscurve wurde durch Anklebmen eines sensi = blen Photoabnehmers der Firma HELLIGE an einem Ohrläpp = chen abgeleitet . Der Regler 'Verst.Ohrpuls' ermöglichte

wie beim EKG die Anpassung des Ohrpulses an die Auswerte = einheit , und zwar in der Weise , daß die Leuchtdiode 'OP' (= Ohrpuls) im Takt der Frequenz blinkte . Die aus der Kurve des Ohrpulses errechnete Frequenz wurde bei entspre = chender Stellung des Wählschalters auf 'OP' von dem Meß = instrument 'Pulsfrequenz' angezeigt . Mit einem an die Buchse 'Ohrpulskurve' angeschlossenen Schreiber konnte die Ohrpulskurve sichtbar gemacht werden .

Die Laufzeit der Pulswelle wurde auf dem in Millise = kunden kalibrierten Instrument 'Pulswellenlaufzeit' ange = zeigt . Die Berechnung der Pulswellenlaufzeit war nur bis zu der maximalen Frequenz von 160 pro Minute vom Gerät her möglich . Bei zu hoher Pulsfrequenz leuchtete eine Störu_{ngs}= lampe auf , die eine Fehlmessung signalisierte .

2.2. Methodik und Probandengut

Mit dem Meßgerät für die Pulswellenlaufzeit wurden bei einhundert Probanden beiderlei Geschlechts jeweils ca. 45 Minuten lang die Pulsfrequenz und die Pulswellenlaufzeit nach dem beschriebenen Verfahren gemessen und zeitgleich und kontinuierlich mit einem Zweikanalschreiber aufge = zeichnet . In ca. 4 - 5 minütigen Abständen war zudem der Blutdruck nach der indirekten Methode (Riva-Rocci) gemes = sen und den entsprechenden Werten der Pulswellenlaufzeit und der Pulsfrequenz zugeordnet worden .

Alle einhundert Versuchspersonen waren gesund . Der jüngste war bei Beginn der Messungen 19 , der älteste 29 Jahre alt .

Die Untersuchung setzte sich aus zwei Meßreihen zusam = men . In der ersten Meßreihe, die achtzig Probanden umfaßte (19 weibliche und 61 männliche), wurden die Messungen in einer jeweils 15 - minütigen Liege-, Sitz- und Stehperiode durchgeführt . Die Messungen fanden in einem ruhigen Raum

statt, die Probanden wurden zur weitestgehenden Entspannung aufgefordert . Die zweite Meßreihe umfaßte zwanzig Probanden (6 weibliche und 14 männliche) . In ihr wurde nach einer 20 - minütigen Liegeperiode bei jedem Probanden eine Blutdrucksteigerung durch vierzig Kniebeugen hervorgerufen . Dieser Phase der körperlichen Belastung folgte unmittelbar eine 20 - minütige Liegephase , in der in kurzen Intervallen von 2 Minuten der Blutdruck nach Riva-Rocci gemessen und wieder den entsprechenden Werten der Puls = wellenlaufzeit und der Pulsfrequenz zugeordnet wurde .

3. ERGEBNISSE

In beiden Meßreihen wurden für die Probanden neben RR (= Blutdruck in mm Hg) , PWZ (= Pulswellenlaufzeit in msec) und PF (= Herzfrequenz pro Minute) zusätzlich das Geschlecht (m = männlich , w = weiblich) , das Alter in Jahren , die Körpergröße in cm und das Körpergewicht in kg angegeben (vgl. Anhang Tab. 17 - 23) . Der besseren Übersicht wegen sind die Tabellen mit den Einzelwerten im Anhang aufgeführt .

Aus dem systolischen und diastolischen Blutdruck wurde zusätzlich der mittlere Blutdruck (= RR_M) berechnet , der etwas unter dem arithmetischen Mittel von systolischem und diastolischem Blutdruck liegt . Er wird exakt durch Planimetrieren intraarteriell registrierter Druckkurven bestimmt . Näherungsweise läßt er sich auch durch Addition des diastolischen Druckes zu einem Drittel des Pulsdruckes (= systolischer minus diastolischer Druck) berechnen :

$$RR_M = RR_{diast} + \frac{1}{3} (RR_{syst} - RR_{diast}) .$$

3.1. Pulswellenlaufzeit, Blutdruck und Pulsfrequenz in Abhängigkeit von der Körperhaltung der Probanden

In der ersten Meßreihe wurden RR , PWZ und PF bei achtzig gesunden Probanden ($\bar{p} = 19$, $\sigma^2 = 61$) in einer jeweils 15 - minütigen Liege- , Sitz- und Stehperiode gemessen (vgl. Anhang Tab. 17 , 18 , 19 und 20) . In jeder der Liege- , Sitz- und Stehperiode wurde der Blutdruck nach Riva-Rocci viermal registriert - also insgesamt 12 mal bei jedem Probanden - und den entsprechenden Werten der Pulswellenlaufzeit und der Herzfrequenz zugeordnet . Abbildung 2 zeigt Original - Kurvenbeispiele für die kontinuierliche Registrierung der Pulswellenlaufzeit (= PWZ) und EKG - Frequenz (= PF) .

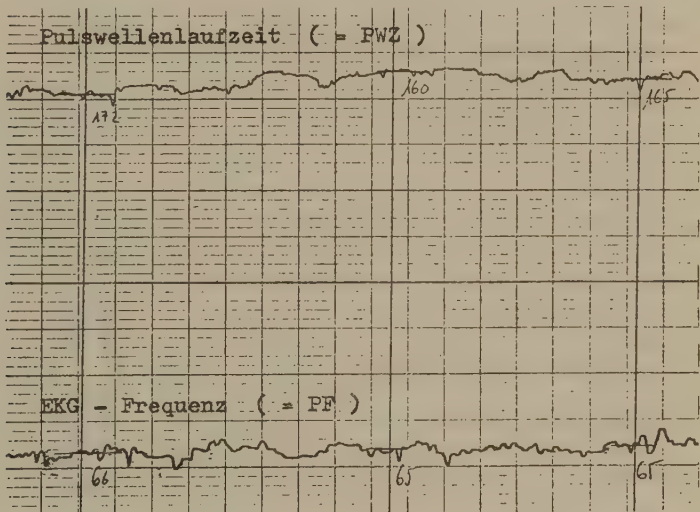


Abb. 2 Original - Kurvenbeispiele für die kontinuierliche Registrierung der Pulswellenlaufzeit (= PWZ) und EKG - Frequenz (= PF)

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der gemessenen Blutdruck- und Pulsfrequenzwerte und der Pulswellenlaufzeiten aller achtzig Probanden sind in Tab. 1, 2, 3, 4 und 5 aufgeführt. Abbildung 3 veranschaulicht die Veränderungen der gemessenen Kreislaufgrößen während des Liegens, Sitzens und Stehens.

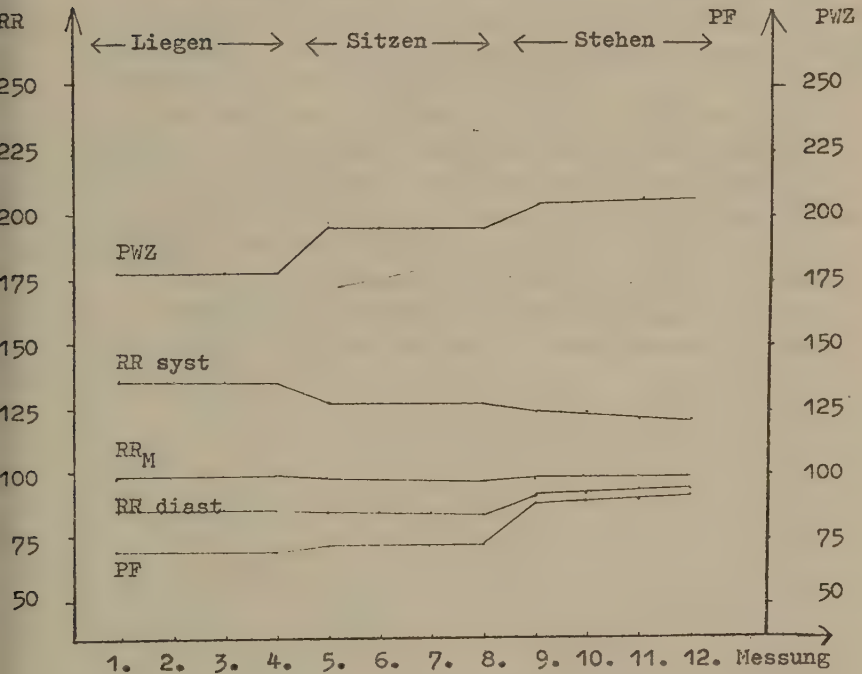


Abb. 3 Graphische Darstellung des Verhaltens von Puls = wellenlaufzeit (= PWZ in msec), Blutdruck (RR syst., RR diast. und RR_M in mm Hg) und Pulsfrequenz (pro Minute) während des Liegens, Sitzens und Stehens. Mittelwerte aus 12 Einzelmessungen bei 80 Probanden (1. Meßreihe)

Die Pulswellenlaufzeit , die im Liegen bei 179 msec ($\bar{x}_n$) bei einer Standardabweichung von $s = 1,08$ lag , betrug während der Sitzperiode ca. 195 msec ($s = 1,16$) und stieg während des Stehens weiter auf 211 msec ($s = 1,13$) an .

Der systolische Blutdruck, der während der Liegephase im Mittel 131 mm Hg bei einer Standardabweichung von $s = 0,84$ betrug , fiel im Sitzen und Stehen rapide ab (126 mm Hg , $s = 0,70$ und 122 mm Hg , $s = 0,62$) .

Der diastolische Blutdruck , der im Liegen bei ca. 82 mm Hg ($s = 0,56$) lag , blieb im Sitzen praktisch unverändert , stieg dagegen während des Stehens um 6 mm Hg auf 88 mm Hg ($s = 0,52$) an .

Der mittlere Blutdruck zeigte die geringsten Veränderungen : während der Liegephase lag er bei 98 mm Hg ($s = 1,10$) , während der Sitzperiode sank er auf 96 mm Hg ($s = 0,90$) , um während des Stehens wieder geringfügig anzusteigen ($\bar{x}_n = 99$ mm Hg , $s = 1,00$) .

Auch die Herzfrequenz stieg von 69 ($s = 0,57$) während des Liegens auf 73 ($s = 0,55$) im Sitzen und 85 ($s = 0,67$) Schlägen in der Minute während des Stehens deutlich an .

Tabelle 1 Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittel =
 werte von systolischem (= RR syst.) und diasto =
 lischem (= RR diast.) Blutdruck , Pulswellen =
 laufzeit (= PWZ) und Pulsfrequenz (= PF) .
 Der Berechnung liegen alle Einzelwerte der ent =
 sprechenden Phase (Liegen,Sitzen,Stehen) zugrunde.

L I E G E N :	RR syst.	RR diast.	PWZ	PF
Mittel= wert	131,39	82,27	179,13	69
Standard= abweichg.	0,84	0,56	1,08	0,57
S I T Z E N :				
Mittel= wert	125,86	82,25	194,85	72,83
Standard= abweichg.	0,70	0,47	1,16	0,55
S T E H E N :				
Mittel= wert	122,47	88,42	211,08	85,10
Standard= abweichg.	0,62	0,52	1,13	0,67

Tabelle 2 Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittelwerte von systolischem (= RR syst.) und diastolischem (= RR diast.) Blutdruck, Puls = wellenlaufzeit (= PWZ) und Pulsfrequenz (= PF). Der Berechnung liegen nur die Einzelwerte der vier Messungen während der Liegephase zugrunde.

L I E G E N :

<u>1. Messung</u>	RR syst.	RR diast.	PWZ	PF
Mittelwert	132,71	81,19	178,75	69,68
Standardabweichg.	1,68	1,12	2,11	1,12
<u>2. Messung</u>				
Mittelwert	131,38	81,75	178,65	69,30
Standardabweichg.	1,73	1,12	2,18	1,15
<u>3. Messung</u>				
Mittelwert	131,13	83,00	179,38	68,69
Standardabweichg.	1,72	1,15	2,15	1,16
<u>4. Messung</u>				
Mittelwert	130,58	83,13	179,73	68,33
Standardabweichg.	1,68	1,10	2,20	1,14

Tabelle 3 Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittelwerte von systolischem (= RR syst.) und diastolischem (= RR diast.) Blutdruck, Pulswellenlaufzeit (= PWZ) und Pulsfrequenz (= PF). Der Berechnung liegen nur die Einzelwerte der vier Messungen während der Sitzphase zugrunde.

S I T Z E N :

<u>1. Messung</u>	RR syst.	RR diast.	PWZ	PF
Mittelwert	126,31	82,88	195,75	72,63
Standardabweichung	1,42	1,01	2,36	1,03
<u>2. Messung</u>				
Mittelwert	126,00	82,44	194,61	72,95
Standardabweichg.	1,45	0,92	2,34	1,12
<u>3. Messung</u>				
Mittelwert	125,75	82,63	194,86	72,70
Standardabweichg.	1,35	0,91	2,23	1,08
<u>4. Messung</u>				
Mittelwert	125,38	81,06	194,20	73,05
Standardabweichg.	1,38	0,94	2,33	1,15

Tabelle 4

Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittelwerte von systolischem (= RR syst.) und diastolischem (= RR diast.) Blutdruck, Pulswellenlaufzeit (= PWZ) und Pulsfrequenz (= PF). Der Berechnung liegen nur die Einzelwerte der vier Messungen während der Stehphase zugrunde.

S T E H E N :

<u>1. Messung</u>	RR syst.	RR diast.	PWZ	PF
Mittelwert	123,19	86,75	209,41	83,73
Standardabweichg.	1,28	1,09	2,15	1,35
<u>2. Messung</u>				
Mittelwert	124,19	88,38	211,06	84,93
Standardabweichg.	1,19	1,03	2,24	1,35
<u>3. Messung</u>				
Mittelwert	121,00	89,25	211,80	84,63
Standardabweichg.	1,20	1,06	2,26	1,32
<u>4. Messung</u>				
Mittelwert	121,50	89,31	212,06	87,00
Standardabweichg.	1,31	1,00	2,38	1,33

Tabelle 5

Mittelwerte und Standardabweichungen vom
mittleren Blutdruck (= RRM in mm Hg) .
Der Berechnung liegen die Einzelwerte der
Messungen während der Liege-, Sitz- und Steh=
phase zugrunde (80 Probanden , 1. Meßreihe)

	L I E G E N	S I T Z E N	S T E H E N
<u>1.Messung</u>			
Mittelwert	98,41	97,23	98,85
Standard= abweichg.	1,11	1,04	1,02
<u>2.Messung</u>			
Mittelwert	98,31	96,90	100,31
Standard= abweichg.	1,18	0,91	0,99
<u>3.Messung</u>			
Mittelwert	99,35	96,84	99,79
Standard= abweichg.	1,12	0,93	1,00
<u>4.Messung</u>			
Mittelwert	98,76	95,83	99,89
Standard= abweichg.	1,07	0,90	0,99

Bei den neunzehn weiblichen Versuchspersonen betrug der Blutdruck während der Liegeperiode im Mittel ca. 120/80 mm Hg gegenüber 134/84 mm Hg bei den männlichen Versuchs = personen (vgl. Tab. 6 und 7) . Die Pulswellenlaufzeit lag mit 187 msec über dem Mittelwert der 61 männlichen Proban = den (177 msec) . Auch die Pulsfrequenz zeigte Unterschiede. Ob das Geschlecht einen Einfluß auf die Messungen hatte wie auch das Rauchen einzelner Probanden , kann mit Sicher = heit nicht ausgeschlossen werden .

Tabelle 6 Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittel = werte von systolischem (= RR syst.) und diasto = lischem (= RR diast.) Blutdruck , Pulswellen = laufzeit (= PWZ) und Pulsfrequenz (= PF) . Der Berechnung liegen die Einzelwerte der 3. Mes = sung der Liegephase von 19 weiblichen Probanden zugrunde .

L I E G E N :	RR syst.	RR diast.	PWZ	PF
Mittelwert	120,53	80,79	186,58	72,37
Standardabweichg.	4,36	2,17	4,36	4,36

Tabelle 7 Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittel = werte von systolischem (= RR syst.) und diasto = lischem (= RR diast.) Blutdruck , Pulswellen = laufzeit (= PWZ) und Pulsfrequenz (= PF) . Der Berechnung liegen die Einzelwerte der 3. Mes = sung der Liegephase von 61 männlichen Probanden zugrunde .

L I E G E N :	RR syst.	RR diast.	PWZ	PF
Mittelwert	134,43	83,69	177,13	67,54
Standardabweichg.	7,81	1,35	7,81	1,37

Sechzehn Probanden (10 ♀ , 6 ♂) , deren Körpergröße zwischen 160 und 170 cm lag , zeigten gewisse Unterschiede bezüglich der erhobenen Meßdaten gegenüber den sieben männlichen Probanden mit Körpergrößen über 190 cm (vgl. Tab. 8 und 9) . In der erstgenannten Gruppe lag der durchschnittliche Blutdruck bei 126/80 mm Hg mit einer Pulswellenlaufzeit von durchschnittlich 178 msec und einer Pulsfrequenz von 72 . In der anderen Gruppe lag besonders der systolisch gemessene Blutdruck im Durchschnitt mit 135/82 mm Hg höher, während die Pulswellenlaufzeit mit 166 msec niedriger lag .

Tabelle 8 Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittelwerte von systolischem (= RR syst.) und diastolischem (= RR diast.) Blutdruck , Pulswellenlaufzeit (= PWZ) und Pulsfrequenz (= PF) . Der Berechnung liegen die Einzelwerte der 3. Messung der Liegephase von 16 Probanden mit Körpergrößen zwischen 160 - 170 cm zugrunde .

L I E G E N :	RR syst.	RR diast.	PWZ	PF
Mittelwert	125,94	79,69	177,56	71,94
Standardabweichg.	4,55	1,80	3,72	2,08

Tabelle 9 Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittelwerte von systolischem (= RR syst.) und diastolischem (= RR diast.) Blutdruck , Pulswellenlaufzeit (= PWZ) und Pulsfrequenz (= PF) . Der Berechnung liegen die Einzelwerte der 3. Messung der Liegephase von 7 Probanden mit Körpergrößen zwischen 190 - 200 cm zugrunde .

L I E G E N :	RR syst.	RR diast.	PWZ	PF
Mittelwert	135,00	82,14	165,86	63,71
Standardabweichg.	4,08	3,25	6,70	2,48

Besonderes Interesse galt der Frage nach der Korrelation zwischen systolischem bzw. mittlerem Blutdruck und der Pulswellenlaufzeit. Aus diesem Grunde wurden Korrelationskoeffizient und Signifikanz von systolischem Blutdruck, mittlerem Blutdruck, Pulsfrequenz und Pulswellenlaufzeit ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10 Signifikanzberechnungen bezüglich Korrelation von Pulswellenlaufzeit (= PWZ in msec), systolischem Blutdruck (= RR syst), mittlerem Blutdruck (= RR M) und Herzfrequenz (= PF) bei achtzig Probanden (1.Meßreihe)

	RRsyst. : PWZ	RR _M : PWZ	PF : PWZ
Liegen 3.Messung	r=0,34 s	r=0,11 ns	r=0,17 ns
Sitzen 3.Messung	r=0,28 s	r=0,18 ns	r=0,21 ns
Stehen 3.Messung	r=0,12 ns	r=0 ns	r=0,22 ns

s = signifikant ; ns = nicht signifikant
n = 80
p < 0,05

Es stellte sich heraus, daß zwischen systolischem Blutdruck und der Pulswellenlaufzeit die Korrelation im Liegen und Sitzen signifikant war. Keine signifikante Korrelation bestand zwischen dem mittleren Blutdruck und der Pulswellenlaufzeit. Die Korrelation zwischen Pulsfrequenz und Pulswellenlaufzeit war im Liegen, Sitzen und Stehen ebenfalls nicht signifikant.

3.2. Pulswellenlaufzeit, Blutdruck und Pulsfrequenz unter körperlicher Belastung der Probanden

Die Beziehungen zwischen Pulswellenlaufzeit, Blutdruck und Pulsfrequenz unter körperlicher Belastung der Probanden wurde in einer zweiten Meßreihe geprüft. Bei zwanzig Probanden ($\bar{p} = 6$, $\sigma^2 = 14$) wurde nach vierzig Kniebeugen eine Blutdrucksteigerung hervorgerufen. Der in kurzen Intervallen gemessene Blutdruck wurde wieder den entsprechenden Werten der Pulswellenlaufzeit und der Herzfrequenz zugeordnet. Die Einzelwerte sind in den Tabellen 22 und 23 nachzulesen. Das Verhalten von Pulswellenlaufzeit, systolischem, diastolischem und mittlerem Blutdruck sowie der Pulsfrequenz vor und nach vierzig Kniebeugen veranschaulicht die Abbildung 4. Dieser Abbildung liegen die Mittelwerte der Tabellen 11, 13 und 14 zugrunde.

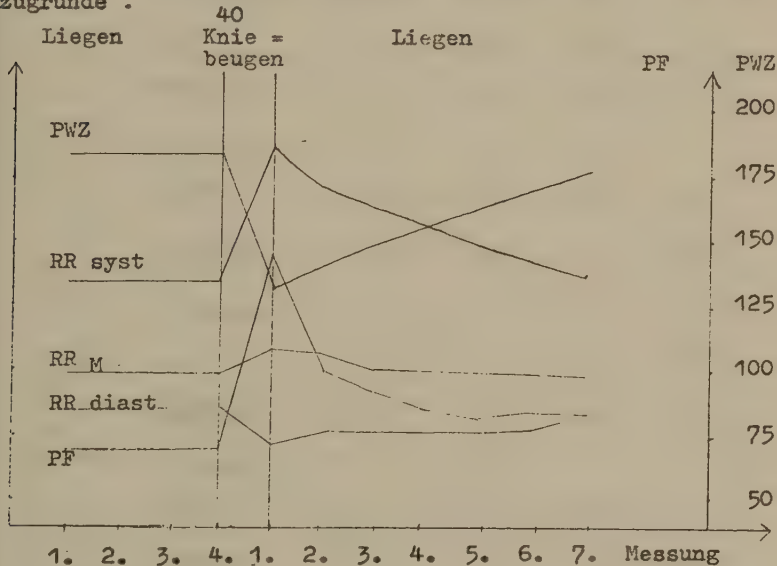


Abb. 4 Graphische Darstellung des Verhaltens von Pulswellenlaufzeit (= PWZ in msec), Blutdruck (= RR syst. RR diast. und RR M in mm Hg) und Pulsfrequenz (pro Minute) vor und nach 40 Kniebeugen. Mittelwerte aus 11 Einzelmessungen bei 20 Probanden (2. Meßreihe)

Es zeigte sich , daß mit zunehmendem systolischen Blut = druck die Pulswellenlaufzeit abnahm, die Pulswellenlänge = schwindigkeit also zunahm . Erwartungsgemäß sank auch der diastolische Blutdruck und stieg die Pulsfrequenz .

Tabelle 11 Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittelwerte von systolischem (= RR syst.) und diastolischem (= RR diast.) Blutdruck , Pulswellenlaufzeit (= PWZ) und Pulsfrequenz (= PF). Der Berechnung liegen die Einzelwerte der vier Messungen während der Liegephase bei 20 Pro = banden zugrunde . (2. Meßreihe)

L I E G E N : V O R 40 K N I E B E U G E N

<u>1. Messung</u>	RR syst.	RR diast.	PWZ	PF
Mittelwert	132,75	81,25	178,75	70,45
Standardabweichg.	3,19	2,61	5,63	2,70

2. Messung

Mittelwert	131,75	81,75	178,00	69,35
Standardabweichg.	3,19	2,57	5,70	2,69

3. Messung

Mittelwert	131,75	81,25	178,15	69,20
Standardabweichg.	3,25	2,48	5,84	2,77

4. Messung

Mittelwert	131,00	81,75	179,25	69,10
Standardabweichg.	3,13	2,67	6,04	2,88

Tabelle 12 Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittelwerte von systolischem (= RR syst.) und diastolischem (= RR diast.) Blutdruck, Puls = wellenlaufzeit (= PWZ) und Pulsfrequenz (= PF). Der Berechnung liegen alle Einzelwerte der Liegephase von 20 Probanden zugrunde (2. Meßreihe)

L I E G E N V O R 40 K N I E B E U G E N :

	RR syst.	RR diast	PWZ	PF
Mittel= wert	131,81	81,50	178,54	69,53
Standard= abweichg.	1,57	1,27	2,85	1,35

Tabelle 13

Mittelwerte und Standardabweichungen der Mittelwerte von systolischem (= RR syst.) und diastolischem (= RR diast.) Blutdruck, Pulswellenlaufzeit (= PWZ) und Pulsfrequenz (= PF). Der Berechnung liegen die Einzelwerte von sieben Messungen während der Liegephase bei 20 Probanden zugrunde (2. Meßreihe)

L I E G E N N A C H 40 K N I E B E U G E N :

<u>1. Messung</u>	RR syst.	RR diast.	PWZ	PF
Mittelwert	182,25	69,00	126,60	142,65
Standardabweichg.	4,85	2,55	2,48	2,20
<u>2. Messung</u>				
Mittelwert	170,75	74,75	138,95	97,15
Standardabweichg.	4,08	2,77	3,05	4,13
<u>3. Messung</u>				
Mittelwert	159,00	71,25	144,60	86,30
Standardabweichg.	3,71	2,81	3,56	3,97
<u>4. Messung</u>				
Mittelwert	151,00	72,75	152,60	82,35
Standardabweichg.	3,71	3,17	3,28	3,50
<u>5. Messung</u>				
Mittelwert	143,50	73,75	160,00	80,75
Standardabweichg.	3,87	3,12	3,54	3,49
<u>6. Messung</u>				
Mittelwert	138,50	77,00	168,85	81,25
Standardabweichg.	3,86	3,04	3,57	3,42
<u>7. Messung</u>				
Mittelwert	134,00	79,75	175,15	79,45
Standardabweichg.	3,62	3,00	3,51	3,22

Tabelle 14 Mittelwerte und Standardabweichung der Mittel =
werte vom mittleren Blutdruck (= RR_M in
mm Hg) . 20 Probanden der 2. Meßreihe .

L I E G E N V O R 4 0 K N I E B E U G E N :

	1.	2.	3.	4. Messung
Mittelwert	98,40	98,55	98,00	97,65
Standard= abweichg.	2,60	2,64	2,63	2,63

L I E G E N N A C H 4 0 K N I E B E U G E N :

	1.	2.	3.	4. Messung
Mittelwert	106,50	106,60	100,50	99,05
Standard= abweichg.	2,64	3,03	2,81	2,95
	5.	6.	7. Messung	
Mittelwert	97,65	97,45	97,85	
Standard= abweichg.	2,98	3,03	2,94	

Die Signifikanzberechnungen bezüglich Korrelation von Pulswellenlaufzeit, systolischem und mittlerem Blutdruck und der Pulsfrequenz bei den zwanzig Probanden der zweiten Meßreihe sind in Tabelle 15 dargestellt. Die Korrelation zwischen systolischem Blutdruck und der Pulswellenlaufzeit für die erste Messung nach vierzig Kniebeugen sowie die Korrelation zwischen Pulsfrequenz und Pulswellenlaufzeit für die siebte Messung nach vierzig Kniebeugen waren signifikant. Keine signifikante Korrelation bestand zwischen mittlerem Blutdruck und der Pulswellenlaufzeit.

Tabelle 15 Signifikanzberechnungen bezüglich Korrelation von Pulswellenlaufzeit (= PWZ), systolischem Blutdruck (= RR syst.), mittlerem Blutdruck (= RR_M) und Pulsfrequenz bei zwanzig Probanden (2. Meßreihe)

	RRsyst. : PWZ	RR _M : PWZ	PF : PWZ
vor 40 Kniebgn. 3.Messung	r=0,24 ns	r=0,28 ns	r=0,37 ns
nach 40 Kniebgn. 1.Messung	r=0,55 s	r=0,19 ns	r=0,14 ns
2.Messung	r=0,26 ns	r=0,23 ns	r=0,10 ns
3.Messung	r=0,15 ns	r=0,17 ns	r=0,10 ns
4.Messung	r=0,13 ns	r=0,09 ns	r=0,27 ns
5.Messung	r=0,08 ns	r=0,15 ns	r=0,24 ns
6.Messung	r=0,15 ns	r=0,28 ns	r=0,32 ns
7.Messung	r=0 ns	r=0,11 ns	r=0,55 s

s = signifikant ; ns = nicht signifikant

n = 20

p < 0,05

3.3. Meßverfahren und Artefakte

Zur Überprüfung des Meßverfahrens waren bei drei männlichen Probanden die Zeitdifferenzen zwischen R - Zacke und Ohrpuls , sowie mit Hilfe eines Pulsfühlers an der A. carotis die Zeitabstände zwischen R - Zacke und Carotispuls gleichzeitig ermittelt und miteinander verglichen worden (vgl. Abb. 5) .

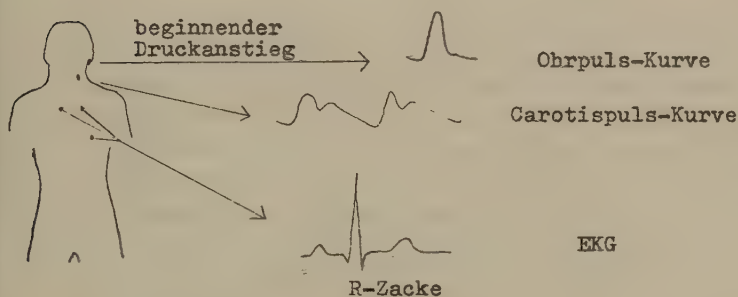


Abb. 5 Schematische Darstellung der gleichzeitigen Registrierung des Elektrokardiogramms, sowie des Carotis- und Ohrpulses mit zwei verschiedenen Pulsabnehmern an einer Versuchsperson

Diese Zeitdifferenzen standen in einem festen, reproduzierbaren Verhältnis zueinander (vgl. Tab. 16) . Eine Pulswelle hatte z.B. zur Zurücklegung der Strecke Herz - A. carotis 150 Millisekunden, für die Strecke Herz - Ohr läppchen 220 Millisekunden benötigt (vgl. Tab. 16 ; Proband 1 , Messung 1) .

Tabelle 16 Zusammenstellung der gleichzeitig gemessenen Zeitabstände (in msec) zwischen der R-Zacke des EKG's und dem Carotispuls einerseits, sowie zwischen R-Zacke und Ohrpuls andererseits bei drei Probanden

Proband	R-Zacke - Carotispuls				R-Zacke - Ohrpuls			
	Messungen				Messungen			
1	150	155	155	150	220	245	240	225
2	180	185	180	180	270	270	275	270
3	180	180	180	170	280	270	270	260

Bei drei Probanden waren verschiedene Störmöglichkeiten für die kontinuierliche Registrierung der Pulswellenlaufzeit festgestellt worden . Es zeigte sich, daß Bewegungen wie z.B. Hochheben der Arme, Anspannen der Bauchmuskulatur, tiefe Inspirationen usw. Artefakte in der kontinuierlichen Messung der Pulswellenlaufzeit hervorrufen konnten (vgl. Abb. 6) .

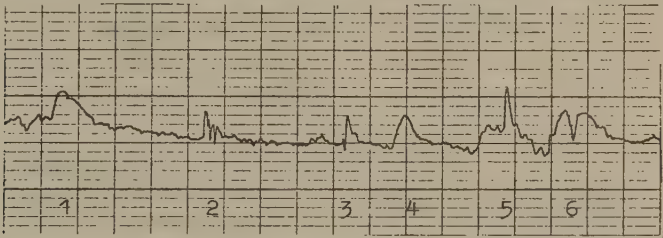


Abb. 6 Veränderungen der Pulswellenlaufzeit-Registrierung durch Bewegungen des Probanden . Papiervorschub 1 Meter/Std. 1 = Inspirationen , 2 = mehrmaliges Kopfdrehen , 3 = Hochheben der Arme , 4 = Bewegen der Hand , 5 = lautes Rufen , 6 = Anspannen der Bauchmuskulatur

Möglicherweise wurde durch zusätzliche Muskelströme eine einwandfreie Triggerung der R - Zacke nicht mehr gewährleistet . Auch durch das Drehen des Kopfes in beide Richtungen wurde eine Veränderung der Pulswellenlaufzeit - Messung sichtbar . Hier ist anzunehmen, daß mechanische Veränderungen der Gefäßweite und Gefäßlänge artefiziell wirkten .

4. DISKUSSION

4.1. Pulswellenlaufzeit, Blutdruck und Pulsfrequenz in Abhängigkeit von der Körperhaltung der Probanden

4.1.1. Pulswellenlaufzeit

Ein Ergebnis der ersten Meßreihe war die Zunahme der Pulswellenlaufzeit, d. h. Abnahme der Pulswellengeschwindigkeit, vom Liegen zum Sitzen und vom Sitzen zum Stehen (vgl. Abb. 3). Betrug die Pulswellenlaufzeit im Durchschnitt während des Liegens 179,13 msec bei einer Standardabweichung(s) von 1,08, so lag sie im Sitzen bei 195 msec ($s = 1,16$) und im Stehen bei 211 msec ($s = 1,13$). (vgl. Tab. 1). Daraus berechnet sich eine Pulswellengeschwindigkeit - bei einer angenommenen Arterienstrecke von 28 cm - im Liegen von 1,55 Meter / Sekunde, im Sitzen von 1,43 Meter / Sekunde und im Stehen von 1,33 Meter / Sekunde. Die Pulswellengeschwindigkeit nahm also gegenüber dem Liegen im Sitzen um 7,7 % und im Stehen um 17,2 % ab, während die Pulswellenlaufzeit um die gleichen prozentualen Anteile zu nahm.

Diese Befunde stehen im Gegensatz zu einer Untersuchung der Pulswellengeschwindigkeit beim liegenden und stehenden Menschen durch GAUER aus dem Jahre 1936. GAUER hatte in der Aorta thoracalis beim liegenden und aufrechten Menschen eine Pulswellengeschwindigkeit von 3,8 - 4 Meter / Sekunde gemessen (20). In der Beinarterie betrug nach seinen Messungen die Durchschnittsgeschwindigkeit beim liegenden Menschen ca. 8 Meter / Sekunde, beim aufrechten Menschen dagegen 12 - 13 Meter / Sekunde. Das würde bedeuten, daß es in den peripheren Arterien zu einem Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit im Stehen gegenüber im Liegen kommt. GAUER hatte zur Messung der Pulswellenlaufzeit einen FRANK

schen Lufttransmissionssphygmographen (vgl. 1.2.) verwendet und seine Messungen an einer Versuchsperson durchgeführt .

Die Gründe für die gemessenen niedrigeren Werte der Puls = wellengeschwindigkeit liegen möglicherweise im unterschiedlichen Meßverfahren (vgl. 4.3.2.) .

4.1.2. Pulsfrequenz

Das Verhalten verschiedener anderer Kreislaufgrößen während der Orthostase ist gerade in jüngster Zeit Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen (9 , 11 , 12 , 17 , 45 , 51) . Es besteht grundsätzliche Übereinstimmung , daß untrainierte Personen bei und nach Lagewechsel in die Senkrechte - in der Literatur werden vielfach Kipptisch = teste erwähnt - einen etwas stärkeren Anstieg des diastolischen Druckes und der Pulsfrequenz zeigen als Trainierte (45) . Nach den eigenen Messungen stieg in der Regel die Herzfrequenz im Stehen gegenüber der horizontalen Lage um 15 - 20 Schläge / Minute an (vgl. Tab. 1 , 2 , 4) . DE MAREES kommt zu ähnlichen Werten (12) .

Wie WECKENMANN nachweist, ist der Puls - Atem - Quotient der orthostatisch Labilen im Liegen gleich dem der orthostatisch Stabilen, im Stehen aber höher . Letzteres soll nicht nur durch die höhere Pulsfrequenz der orthostatisch Labilen im Stehen bedingt sein, sondern auch durch die niedrigere Atemfrequenz (51) .

Keine oder nur eine geringfügige Pulsfrequenzsteigerung nach einer Lageänderung vom Liegen zum Stehen soll nach CHRISTIANSEN und Mitarbeitern bei Menschen jenseits des 50. Lebensjahres mit Anzeichen einer Arteriosklerose stattfinden (11) .

4.1.3. Blutdruck

Wie Abbildung 3 erkennen läßt, wird die Blutdruckamplitude beim Lagewechsel vom Liegen zum Stehen bzw. schon vom Liegen zum Sitzen im Schnitt kleiner. In der Sitzperiode ist dies insbesondere auf eine Abnahme des systolischen Blutdrucks bei nahezu unverändertem diastolischen Blutdruck zurückzuführen. Während des Stehens wird die Blutdruckamplitude jedoch in erster Linie durch den Anstieg des diastolischen Druckes bei nur mäßig weitersinkendem systolischen Druck hervorgerufen.

Es ist bekannt, daß infolge der Schwerkraft die Drucke in den Gefäßen unter dem Herzniveau höher sind, in Gefäßen über dem Herzniveau niedriger. Für einen Menschen mit einem mittleren arteriellen Druck von 100 mm Hg in Herzhöhe werden in aufrechter Stellung ein Druck in einer großen Kopfarterie von ca. 62 mm Hg und in einer Fußarterie ein Druck von über 180 mm Hg angegeben (54). Bei normaler Blutviskosität beeinflusst die Schwerkraft die arteriellen Drucke mit ca. 0,77 mm Hg / cm vertikaler Abstand über oder unter dem Herzen.

In horizontaler Körperlage dagegen wurde auf der Strecke zwischen der herznahen Aorta und den Arterien der Hand bzw. des Fußes nur ein geringer Abfall des arteriellen Mitteldruckes gemessen (54). Der Strömungswiderstand war also sehr gering.

Mit der um den Oberarm gelegten Riva-Rocci - Manschette wird auch im Stehen der arterielle Druck der A. brachialis in Herzhöhe gemessen.

Der auffallende Anstieg des diastolischen Blutdrucks während des Stehens wird durch eine Widerstandszunahme in den peripheren Gefäßen erklärt (4 , 39). Die periphere Vasokonstriktion stellt neben der Frequenzzunahme einen Kompensationsvorgang des Organismus auf den verminderten Zufluß zum Herzen dar. Beim Aufrichten vom Liegen zum Stehen

in Ruhe erhöht sich infolge der Schwerkraft der hydrostatische Druck in den Venen der abhängigen Körperpartien . Dem Kreislauf können somit bis zu 600 cm^3 Blut entzogen werden (3) . Während das Schlagvolumen herabgesetzt ist, kann sich das Herzminutenvolumen durch die Frequenzzunahme wieder annähernd normalisieren .

4.2. Pulswellenlaufzeit, Blutdruck und Pulsfrequenz unter körperlicher Belastung der Probanden

Das Verhalten der gemessenen Kreislaufgrößen Pulswellenlaufzeit, Blutdruck und Herzfrequenz vor und nach vierzig Kniebeugen, die von zwanzig Probanden der zweiten Meßreihe durchgeführt wurden, veranschaulicht die Abbildung 4. Bei Anstieg des systolischen und mittleren Blutdrucks nahm die Pulswellenlaufzeit ab, bzw. definitionsgemäß die Pulswellengeschwindigkeit zu. Interessanterweise befinden sich die Kreuzungspunkte der PWZ - Abnahme bzw. RR syst.-Zunahme und der rückläufigen PWZ - Zunahme bzw. RR syst. - Abnahme in gleicher Höhe . Setzt man die maximalen PWZ - und RR syst. - Veränderungen , die durch die vierzig Kniebeugen bei den zwanzig Probanden hervorgerufen wurden , gleich 100 % , so fielen PWZ und RR syst zum gleichen Zeitpunkt - bei der vierten Messung - auf die Hälfte = 50 % ab. Die Abnahme der Pulswellenlaufzeit - bzw. die Zunahme der Pulswellengeschwindigkeit - erfolgte also annähernd linear mit dem Druck . Diese festgestellte enge Verknüpfung zwischen der Pulswellenlaufzeit und dem Blutdruck entspricht den in der Literatur beschriebenen Verhältnissen (vgl. 1.3.3.) .

4.3. Die Problematik des Meßverfahrens

4.3.1. Vergleich der Meßergebnisse mit Angaben aus der Literatur

Die gemessenen Zeitintervalle zwischen R - Zacke des Elektrokardiogramms und dem ankommenden Puls am Ohrläppchen betrugen während des Liegens im Durchschnitt 180 msec (vgl. Tab. 1) . Bei einer angenommenen Entfernung von 28 Zentimetern zwischen Aortenklappe und Ohrläppchen läßt sich eine mittlere Geschwindigkeit der Pulswelle von 1,55 Meter / Sekunde berechnen . Dieser Wert liegt unter den in der Literatur angegebenen Werten der Pulswellengeschwindigkeit . Die Pulswelle pflanzt sich nämlich nach allgemeiner Auffassung mit einer relativ hohen Geschwindigkeit von ca. 4 Meter / Sekunde in der Aorta und ca. 10 Meter / Sekunde in kleineren peripheren Gefäßen wie der A. dorsalis pedis im arteriellen System fort (20) . MARKS nennt für kleine Arterien Pulswellengeschwindigkeiten bis zu 35 Meter / Sekunde (31) . In der A. carotis communis soll die gleiche Wellengeschwindigkeit wie im Arcus aortae herrschen (1 , 2 , 20) .

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle hängt nicht von der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes ab, sondern von anderen Faktoren, wie z.B. der Elastizität der Gefäßwand (vgl. 1.1.) . Die physikalischen Eigenschaften der Aorta ändern sich mit zunehmendem Abstand vom Herzen in dem Sinne, daß der Querschnitt abnimmt und die Wellengeschwindigkeit ansteigt .

Im Ohrläppchen fehlt im Gegensatz zur Ohrmuschel die knorpelige Stütze; es enthält Fettgewebe . Die arterielle Blutversorgung des gesamten äußeren Ohres und damit auch des Ohrläppchens stammt aus Ästen der A. carotis externa (A. auricularis posterior , A. auricularis profunda , A. temporalis superficialis) . Die Pulswelle, deren Geschwindigkeit

keit im Arcus aortae und in der A. carotis communis ca. 4 Meter / Sekunde beträgt , müßte sich in der A. carotis externa wegen des sich verkleinernden Gefäßlumens mit einer größeren Geschwindigkeit fortpflanzen, und in den kleinen Arterien des Ohrläppchens müßte demzufolge die Pulswelle noch schneller sein .

Die Gründe für die gemessenen niedrigeren Werte der Pulswellengeschwindigkeit gegenüber den Literaturangaben liegen möglicherweise in einem unterschiedlichen Meßverfahren .

4.3.2. Meßtechnische Schwierigkeiten

4.3.2.1. Die R - Zacke

Die sichere Triggerung der R - Zacke stellt wegen ihrer größten Anstiegsgeschwindigkeit gegenüber den anderen Phänomenen des Elektrokardiogramms kein großes meßtechnisches Problem dar . In der neueren Literatur sind schon vielfach Methoden beschrieben worden, die zur Messung der Pulswellenlaufzeit bzw. der Pulswellengeschwindigkeit die R - Zacke des Elektrokardiogramms als ersten Fixpunkt verwendeten (28 , 46 , 47 , 48 , 49 , 50 , 53 , 59) .

4.3.2.2. Die periphere Pulsregistrierung

Ein größeres meßtechnisches Problem stellt die artefaktfreie periphere Pulsabnahme dar (53) . Dazu existieren verschiedene Verfahren (vgl. 1.2.) .

Das Meßverfahren unserer Pulswellenlaufzeit - Messungen beruhte u.a. auch auf einem photosensiblen Ohrpulsabnehmer (vgl. 2.1.) . Die pulsatorischen Bewegungen der kleinen Arterien warfen wechselnde Schatten auf die Photozelle, wodurch ein " modellierter Strom " (19) entstand . Photosensible Ohrpulsabnehmer speziell zur

Messung der Pulswellenlaufzeit bzw. der Pulswellengeschwindigkeit sind nach der vorliegenden Literatur noch nicht beschrieben worden. VAN DER HOEVEN und Mitarbeiter hatten zur Messung der Pulswellenlaufzeit bei Kindern neben der R - Zacke des EKG's einen neu entwickelten Photoplethysmographen als Pulsabnehmer verwandt (50) . Dieser wurde aber ausschließlich über größeren Gefäßen angesetzt (A. carotis externa , A. axillaris , A. radialis , A. femoralis , A. dorsalis pedis) .

Der photosensible Ohrpulsabnehmer registrierte also die bei ankommenden Pulswellen erfolgenden Lumenänderungen - und nicht Druckänderungen - der kleinen Arterien des Ohrläppchens .

Photoelektrische Detektoren für die Registrierung insbesondere des Fingerpulses sind auf Intensivstationen weit verbreitet . Sie werden gewöhnlich zur Überwachung der Pulsfrequenz verwendet und sind meist mit Sichtschirmen verbunden . Zur Messung der Pulswellenlaufzeit bzw. Pulswellengeschwindigkeit sind auch sie noch nicht angewandt worden . Sie ergeben ein kontinuierliches Bild der Pulswelle , das mit dem zeitlichen Ablauf der intravasalen Pulsationen gewisse Ähnlichkeiten aufweist . KÖRNER beobachtete ein zeitweiliges Verschwinden dieser photoelektrisch aufgenommenen Pulswellen am Finger in vasokonstriktorischen Schockphasen und nach intravenösen Injektionen von vasopressorischen Substanzen (29) .

4.3.3. Verschiedene Pulsarten

Möglicherweise handelt es sich um einen höheren Volumenspuls - Anteil, der mit dem photosensiblen Ohrpulsabnehmer zur Messung der Pulswellenlaufzeit festgestellt wird, im Gegensatz zu anderen sonst üblichen Verfahren, die mehr den Druckpuls registrieren . Nach WETTERER (54) lassen sich an

jedem Ort, den eine Pulswelle passiert, drei verschiedene Phänomene beobachten : eine Flüssigkeitsströmung (Strom = puls) , eine Druckerhöhung (Druckpuls) und eine Querschnittserweiterung (Volumpuls) . In nebeneinanderliegenden Gefäßabschnitten z.B. wird also fortlaufend Flüssigkeit gespeichert und weiterbewegt . WETTERER weist besonders darauf hin , daß jeder Strompuls in der Aorta ascendens mit Null beginnt , ein Maximum durchläuft und wieder bei Null endet , während sich die pulsatorischen Schwankungen des Drucks auf einer weit über Null liegenden Ebene abspielen . Wie Arbeiten von HÜTHLE (26) , DONZELOT u.Mitarb. (13) , PETERSON (36) , HEYMAN (25) , WEHN (52) und REMINGTON (38) zeigen , ist der arterielle Druckverlauf nicht identisch mit den pulsatorischen Querschnittsänderungen der Gefäße . Eine gleichzeitige Registrierung des Druckpulses und des Volumpulses decken sich nicht vollständig . Die Gründe für dieses unterschiedliche Verhalten der Druckkurve und der Volumenkurve sind nicht sicher bekannt . Möglicherweise spielt die Muskulatur der Gefäße eine Rolle (19) . Nach REIN und SCHNEIDER ist es den elastischen Eigenschaften des Gefäßsystems zuzuschreiben, daß der durch die rhythmische Tätigkeit des Herzens entstehende Druckpuls nicht synchron mit dem entsprechenden Strompuls verläuft (37) . Beide Pulse beginnen zwar zum gleichen Zeitpunkt, der Druckpuls erreicht sein Maximum jedoch stets erst später als der Strompuls . Gegenüber dem Druckpuls erscheint der Volumpuls leicht verzögert .

Die Vermutung liegt also nahe , daß der Druckpuls - vom Herzen ausgehend - vor dem eigentlichen Weiterströmen des in den großen Gefäßen befindlichen Blutes - die Arterien durchläuft und mit den üblichen Pulsfühlern abgenommen werden kann . Angaben über unterschiedliche Geschwindigkeiten der drei Pulsarten werden in der vorliegenden Literatur nicht gemacht .

Dies könnte eine Erklärung für die gemessenen langen Pulswellenlaufzeiten sein . Nach GADERMANN und JUNGMANN sollen zwar die Unterschiede zwischen Druck- und Volumen = kurve so gering sein , daß sie für die klinische Anwendung des Verfahrens vernachlässigt werden kann (19) . Es hängt aber von den physikalischen Eigenschaften des Puls = abnehmers ab , ob die registrierte Kurve mehr Druck- oder mehr Volumenpulsschwankungen wiedergibt (55) . Die übli = chen Pulsschreiber registrieren eine Mischung aus Druck- und Volumenkurve . Intraarterielle Druckschwankungen wer = den umso besser dargestellt, je stärker die Pulsfühler die Arterienwand eindrücken .

Somit ist anzunehmen, daß der photosensible Ohrpulsab = nehmer den gegenüber dem Druckpuls verspätet einsetzenden Volumpuls registriert . Dies würde die gemessenen langen Pulswellenlaufzeiten erklären .

5.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem Prototyp eines neuen Meßgerätes waren bei 100 Probanden die Pulswellenlaufzeit und die Herzfrequenz ca. 45 Minuten lang kontinuierlich gemessen und über einen Zweikanal - Schreiber aufgezeichnet worden. Die Werte des in 4 - 5 Minuten - Abständen indirekt nach Riva-Rocci gemessenen Blutdrucks wurden den entsprechenden Pulswellenlaufzeiten und Herzfrequenzen zugeordnet.

Die Pulswellenlaufzeit ergab sich aus der Zeitdifferenz der R - Zacke des Elektrokardiogramms gegenüber dem peripheren Chrpuls, den ein photosensibler Pulsabnehmer registrierte.

In einer ersten Meßreihe waren Pulswellenlaufzeit, Blutdruck und Herzfrequenz bei 80 Probanden im Liegen, Sitzen und Stehen erhoben worden. Gegenüber den gemessenen Zeiten im Liegen zeigte sich besonders im Stehen eine Zunahme der Pulswellenlaufzeit. Die im Stehen erfolgte Verkleinerung der Blutdruckamplitude war besonders auf einen Anstieg des diastolischen Blutdrucks zurückzuführen. Eine signifikante Korrelation lag nur zwischen systolischem Blutdruck und der Pulswellenlaufzeit im Liegen und Sitzen vor.

In einer zweiten Meßreihe konnte bei zwanzig Probanden die Verknüpfung von Blutdruckanstieg und Pulswellenlaufzeit-Erniedrigung bzw. Pulswellengeschwindigkeits - Erhöhung bestätigt werden. Eine signifikante Korrelation lag jedoch nur zwischen systolischem Blutdruck und der Pulswellenlaufzeit für die erste Messung nach vierzig Kniebeugen vor.

Die aus den gemessenen Pulswellenlaufzeiten berechnete Pulswellengeschwindigkeit unterschied sich von den in der Literatur angegebenen Werten. Als Ursache wurde die Registrierung des Volumpulses angenommen, der gegenüber dem Druckpuls verzögert erscheint.

A N H A N G

A N H A N G

Tabelle 17 (Angabe von Name, Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht für 80 Probanden der 1. Meßreihe)

Nr.	Name	Geschl.	Alter Jahre	Größe cm	Gewicht Kg
1	M.K.	w	22	168	59
2	A.M.	w	24	166	57
3	R.K.	m	20	175	78
4	K.H.	m	23	167	53
5	R.K.	m	23	183	70
6	M.M.	m	25	185	84
7	B.S.	m	21	182	75
8	H.S.	m	27	187	78
9	W.S.	m	22	182	70
10	E.M.	m	25	170	64
11	M.B.	m	22	180	80
12	B.K.	w	20	169	61
13	B.G.	m	25	176	85
14	A.S.	w	20	174	62
15	T.T.	m	26	169	56
16	T.S.	m	21	170	52
17	R.H.	m	27	178	70
18	U.P.	m	25	183	75
19	K.B.	m	22	185	80
20	W.G.	m	23	189	89
21	T.D.	m	21	191	81
22	J.G.	m	24	183	70
23	M.B.	m	24	175	77
24	D.M.	m	21	176	74
25	C.W.	m	21	195	79
26	A.W.	w	23	168	53
27	H.W.	m	26	178	69
28	K.G.	m	21	191	72
29	I.B.	w	21	164	57
30	R.S.	w	22	180	64
31	E.W.	w	20	174	60
32	B.G.	m	20	186	73
33	R.A.	m	20	183	62
34	D.R.	m	20	180	74
35	U.B.	m	20	193	86
36	H.S.	m	24	170	65
37	J.S.	m	24	182	76
38	G.V.	m	26	186	80
39	M.H.	w	27	175	62
40	U.S.	m	23	175	63
41	R.R.	m	25	181	64
42	B.F.	m	25	176	71
43	W.P.	m	25	179	69
44	A.K.	m	20	194	80
45	G.S.	m	22	183	64
46	L.S.	m	30	180	75
47	U.L.	m	27	180	84
48	F.G.	m	28	178	69
49	J.Z.	m	29	176	70
50	U.T.	w	21	178	64

Tabelle 17 (Fortsetzung)

Nr.	Name	Geschl.	Alter Jahre	Größe cm	Gewicht Kg
51	A.S.	m	27	180	72
52	A.R.	m	20	184	78
53	U.S.	m	23	196	86
54	S.K.	w	20	170	67
55	E.F.	w	21	168	53
56	U.H.	m	20	179	65
57	U.D.	w	20	174	56
58	W.J.	m	20	176	65
59	B.B.	m	19	185	71
60	R.L.	m	20	183	72
61	F.L.	m	22	183	78
62	H.R.	m	22	178	73
63	H.B.	m	23	173	62
64	G.R.	w	22	162	54
65	R.W.	m	19	183	75
66	P.I.	m	19	187	77
67	R.H.	m	29	172	62
68	D.H.	w	24	180	58
69	K.K.	w	25	169	53
70	B.K.	m	22	176	70
71	S.M.	w	20	173	54
72	R.S.	m	24	181	72
73	R.J.	m	25	184	73
74	D.S.	m	27	192	81
75	W.G.	m	26	174	72
76	S.B.	w	20	169	65
77	H.B.	m	23	183	74
78	N.E.	m	28	176	65
79	R.F.	m	27	176	68
80	G.V.	w	26	168	50

Tabelle 18 (Liegeperiode)
(Einzelwerte von 80 Probanden der 1. Meßreihe)

Nr.	1. Messung			2. Messung			3. Messung			4. Messung		
	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF
1	125/85	180	86	130/85	194	80	120/90	189	80	128/85	190	81
2	125/75	155	76	120/75	155	82	120/70	159	85	120/75	163	84
3	145/80	175	72	145/85	183	66	145/90	185	65	130/90	185	69
4	125/65	155	63	125/70	158	65	130/75	161	63	130/75	162	65
5	140/80	170	75	135/75	171	74	140/80	172	75	135/80	175	78
6	140/85	213	60	145/85	212	60	140/85	207	58	140/90	206	56
7	105/70	192	68	110/65	191	71	110/65	193	64	110/65	192	61
8	135/80	179	77	140/80	180	81	140/80	180	80	140/80	177	83
9	130/90	187	59	130/80	191	56	125/85	193	55	135/90	190	55
10	175/80	150	67	180/80	160	62	180/80	157	64	180/80	156	64
11	140/75	185	80	130/80	181	83	140/80	177	80	140/80	179	81
12	120/75	180	78	115/70	182	83	125/75	185	85	120/75	190	75
13	155/105	191	69	160/100	195	68	155/110	200	68	155/95	197	67
14	125/75	185	77	125/80	189	81	125/80	185	69	120/80	188	72
15	120/85	191	58	120/80	190	56	120/85	180	54	120/85	175	54
16	130/70	180	69	120/90	171	72	130/75	183	71	135/75	175	72
17	125/90	167	85	130/85	168	83	125/85	175	83	125/80	173	81
18	165/100	144	73	155/95	130	73	170/100	131	72	170/100	135	72
19	155/100	177	56	170/100	174	56	135/110	175	57	160/110	176	59
20	125/85	200	63	120/80	205	65	125/85	201	65	125/85	201	63
21	150/70	161	80	145/65	161	80	145/70	163	73	140/70	163	73
22	130/80	165	65	130/80	160	64	130/80	154	60	120/70	148	60
23	155/90	184	84	140/85	180	85	130/70	177	83	135/75	182	80
24	135/75	155	74	130/70	172	72	120/70	175	71	125/75	177	65
25	135/65	162	62	130/60	161	62	125/75	160	60	140/75	173	62
26	120/75	209	70	115/75	209	70	115/75	208	70	115/75	211	71
27	140/80	190	88	135/80	195	85	150/90	193	86	140/85	197	82
28	150/85	176	69	140/80	175	68	140/80	168	70	145/85	171	65
29	115/80	169	74	120/90	181	74	125/85	188	72	120/80	192	69
30	130/70	191	62	115/70	187	59	120/70	184	62	125/65	180	63
31	125/80	205	83	125/85	212	86	125/85	203	84	125/85	195	78
32	165/95	167	74	165/90	176	68	175/95	170	69	175/90	175	70
33	135/65	140	83	135/80	140	78	135/80	152	80	115/75	145	84
34	130/80	156	92	135/85	157	80	130/85	156	83	135/90	156	91
35	140/75	195	63	135/80	145	64	130/85	147	61	125/90	141	58
36	125/70	153	62	125/60	157	65	120/70	155	63	120/70	156	63
37	132/75	171	69	135/80	175	69	140/85	197	65	140/85	197	65
38	160/90	172	56	160/95	167	56	165/100	165	55	165/100	165	55
39	140/95	191	72	135/90	207	60	125/90	201	59	125/100	205	62
40	120/80	181	60	120/80	183	62	120/80	184	65	125/85	183	56
41	120/85	183	65	115/85	171	62	120/85	165	63	120/80	169	62
42	150/95	175	43	145/95	171	46	140/95	169	48	145/90	171	46
43	130/75	186	59	120/75	181	56	125/80	186	56	125/75	183	55
44	135/80	159	56	140/85	149	54	135/80	151	58	130/80	145	59
45	140/70	215	66	135/80	215	68	135/85	206	68	135/90	201	63
46	135/100	201	47	135/100	195	46	130/100	195	46	125/95	200	48
47	135/85	164	70	130/85	163	68	140/90	163	65	135/85	163	75
48	145/100	173	66	150/105	172	64	145/105	188	66	150/105	190	65
49	135/85	196	69	135/85	188	62	140/90	183	62	140/90	183	62
50	130/90	186	65	125/90	185	60	130/100	187	60	130/90	189	58

Tabelle 18 (Liegeperiode)-Fortsetzung
(Einzelwerte von 80 Probanden der 1.Meßreihe)

Nr.	<u>1.Messung</u>			<u>2.Messung</u>			<u>3.Messung</u>			<u>4.Messung</u>		
	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF
51	135/55	163	72	125/60	172	69	120/60	168	72	130/60	167	69
52	125/85	140	84	120/70	136	84	135/80	131	103	120/95	135	85
53	125/95	214	56	125/95	207	51	120/95	201	56	125/90	207	54
54	100/75	169	71	95/75	169	68	100/75	168	69	105/75	173	73
55	140/85	200	80	140/100	177	80	135/85	193	72	135/80	194	76
56	150/90	178	75	145/85	178	77	145/80	185	76	140/85	187	78
57	105/75	178	72	110/75	178	71	105/80	177	69	110/80	179	74
58	125/70	172	77	120/70	176	83	130/80	176	77	120/80	176	75
59	130/70	194	54	125/70	190	52	120/70	193	51	125/70	203	49
60	170/90	135	88	165/100	128	86	170/100	135	86	155/100	127	90
61	130/75	160	75	125/80	163	88	125/70	151	78	130/80	150	80
62	125/80	181	60	125/85	196	63	125/80	201	60	130/85	196	60
63	140/90	196	84	140/90	193	88	140/90	195	84	135/90	197	86
64	115/90	167	80	115/80	169	77	110/80	168	77	120/75	167	75
65	120/80	227	65	105/85	219	65	110/95	221	68	110/95	222	69
66	120/80	192	60	120/90	187	63	120/90	181	65	125/90	181	63
67	110/75	187	68	115/75	188	69	110/75	191	66	110/75	191	67
68	110/75	198	76	115/75	200	75	110/80	210	76	115/75	208	75
69	115/80	199	70	120/90	192	77	120/85	183	74	130/90	188	77
70	120/80	190	52	120/75	191	54	125/80	205	53	120/80	193	54
71	120/65	163	59	120/65	184	62	115/60	193	60	115/70	183	55
72	130/65	187	80	125/70	188	76	130/70	183	74	125/75	195	74
73	120/85	215	56	125/80	223	58	120/80	222	57	120/90	223	57
74	155/90	169	68	160/95	170	66	150/90	171	68	145/95	175	68
75	130/90	193	76	130/85	194	77	130/90	191	75	125/90	191	75
76	145/100	176	83	155/95	181	80	150/95	186	78	135/100	192	77
77	130/75	184	65	130/75	184	64	130/75	185	63	120/75	181	63
78	140/75	158	74	135/80	160	74	135/75	172	75	135/75	175	72
79	135/90	160	63	140/90	156	65	135/85	155	63	130/80	162	65
80	110/75	168	72	115/75	173	72	115/75	178	74	110/70	180	73

Tabelle 19 (Sitzperiode)
(Einzelwerte von 80 Probanden der 1. Meßreihe)

Nr.	1. Messung			2. Messung			3. Messung			4. Messung		
	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF
1	135/80	199	81	125/85	201	84	120/85	196	85	110/85	201	96
2	115/75	168	89	120/70	187	89	115/75	188	83	115/70	189	89
3	130/80	216	71	130/85	218	69	125/80	219	66	120/80	225	75
4	120/75	193	65	120/75	186	65	120/70	182	71	120/70	182	65
5	135/85	185	74	130/80	190	71	120/80	195	72	125/80	198	81
6	145/90	235	60	145/90	230	60	145/90	233	60	145/90	233	54
7	110/75	230	66	125/70	220	65	120/70	223	63	125/75	215	68
8	135/75	195	74	135/85	189	77	135/85	195	72	135/85	193	74
9	120/85	217	58	120/80	215	56	130/80	209	58	120/80	214	58
10	170/80	169	66	175/80	165	68	175/80	165	68	175/80	167	67
11	120/75	178	85	120/80	183	86	120/80	183	80	120/80	182	81
12	125/85	196	78	110/75	207	71	115/75	206	74	130/80	195	86
13	155/110	199	74	155/105	203	70	160/110	200	75	155/110	197	75
14	125/80	205	82	115/80	207	85	120/75	206	80	125/70	199	77
15	120/80	183	62	120/80	180	61	125/80	181	60	120/80	191	60
16	125/80	185	75	135/80	191	74	130/80	193	72	135/85	195	75
17	125/85	195	80	110/95	188	81	125/80	189	83	120/85	188	81
18	155/100	144	74	155/90	151	75	145/100	160	74	145/90	149	80
19	145/95	197	66	145/90	201	62	140/85	200	62	130/90	202	63
20	120/85	205	74	130/90	211	74	125/80	221	69	120/90	215	71
21	140/75	188	79	135/70	185	80	135/65	170	84	145/60	171	82
22	115/95	176	70	115/75	177	72	120/75	175	72	120/75	180	72
23	125/80	194	89	125/80	193	91	130/80	200	91	120/80	199	85
24	110/80	181	72	115/95	185	72	120/95	182	74	110/80	183	74
25	130/85	184	63	125/80	183	66	130/80	191	69	130/80	195	71
26	110/70	215	78	110/70	197	80	115/75	195	76	110/70	195	77
27	140/100	220	81	135/90	215	84	135/90	215	83	130/90	215	83
28	145/85	191	71	135/85	191	69	125/85	195	72	125/80	195	72
29	125/90	189	78	120/85	195	74	120/85	209	75	110/90	209	72
30	120/65	191	66	125/80	186	69	130/75	177	80	125/70	180	72
31	110/80	205	85	110/75	210	84	115/75	210	81	105/75	205	78
32	125/85	189	78	150/85	173	73	150/85	167	72	145/85	133	72
33	120/75	191	90	115/65	185	92	120/70	185	96	120/75	198	98
34	130/95	161	92	130/85	158	98	125/80	153	95	125/80	150	97
35	130/80	233	72	110/85	196	72	110/80	195	70	125/80	190	68
36	125/80	177	65	120/70	178	66	125/80	183	65	120/70	180	65
37	135/80	209	66	135/85	205	68	140/80	197	66	140/80	197	66
38	145/90	185	62	150/95	185	63	130/85	183	65	130/85	183	65
39	120/85	205	69	115/95	203	66	125/95	203	77	120/90	197	63
40	115/85	191	63	115/85	189	66	110/80	185	65	115/80	181	65
41	115/90	225	65	115/80	233	65	115/90	229	65	115/85	235	66
42	130/95	197	54	130/95	185	51	125/95	186	55	130/85	193	52
43	115/70	185	62	120/75	189	59	120/70	195	62	120/70	179	62
44	135/80	169	60	130/85	160	69	130/85	167	62	135/85	169	65
45	130/80	221	65	135/75	219	69	130/75	217	66	125/75	218	65
46	120/80	201	58	120/80	201	56	125/85	205	58	120/80	199	54
47	135/90	210	81	140/85	207	80	140/90	206	82	145/95	201	85
48	135/90	193	73	130/90	196	72	120/85	199	65	120/90	203	63
49	110/75	203	69	120/75	198	77	120/75	201	72	120/75	201	72
50	125/85	196	62	125/90	202	63	120/85	203	63	125/85	206	63

Tabelle 19 (Sitzperiode) - Fortsetzung
(Einzelwerte vo 80 Probanden der 1. Meßreihe)

Nr.	<u>1.Messung</u>			<u>2.Messung</u>			<u>3.Messung</u>			<u>4.Messung</u>		
	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF
1	120/65	191	71	120/70	185	72	120/70	192	71	120/60	197	69
2	125/70	155	80	125/70	151	86	130/90	153	86	130/85	152	80
3	125/90	245	63	125/90	236	66	120/90	228	69	120/90	228	66
4	100/80	183	74	105/80	187	71	105/80	182	72	105/80	182	71
5	135/80	207	74	140/100	212	76	135/85	221	76	135/85	205	89
6	120/75	197	80	120/80	208	80	120/75	214	82	125/70	214	78
7	110/80	189	78	110/80	194	72	100/85	197	74	110/85	191	74
8	125/85	187	80	120/85	185	81	130/90	194	80	120/75	178	80
9	110/70	215	58	115/80	205	56	115/75	198	55	120/65	207	60
0	165/110	142	85	150/95	133	94	150/105	130	88	150/90	135	92
1	120/80	173	85	125/75	162	83	130/75	170	84	120/80	174	83
2	120/80	179	62	145/95	178	63	115/70	179	63	125/80	180	69
3	130/100	215	86	120/75	215	86	140/100	207	89	140/95	221	88
4	120/80	177	74	105/90	177	80	120/80	181	72	120/80	179	74
5	105/90	245	81	125/80	245	80	105/80	236	74	105/85	231	72
6	120/90	220	74	120/80	223	72	125/90	222	63	120/90	221	66
7	120/75	195	69	115/80	196	69	125/80	200	69	120/80	196	71
8	120/80	230	80	125/90	225	88	125/80	165	81	110/80	240	83
9	125/90	197	81	120/80	203	80	120/85	213	88	120/90	202	82
0	120/80	170	52	110/70	175	51	120/80	225	51	120/75	175	53
1	125/90	205	58	125/80	209	55	105/70	219	55	110/65	215	55
2	120/80	235	74	110/75	230	75	125/80	185	76	125/75	210	75
3	115/80	219	62	150/95	221	62	110/80	191	60	115/80	218	60
4	140/90	190	68	150/95	189	68	145/95	191	68	150/90	190	68
5	130/95	200	80	130/95	201	78	125/95	211	79	130/90	195	78
6	135/90	193	77	130/90	188	80	125/90	200	75	140/90	187	74
7	130/80	210	72	130/80	211	72	130/80	210	77	135/80	209	74
8	125/70	174	74	120/70	185	76	125/70	186	76	120/70	178	77
9	140/90	157	77	125/80	145	72	135/85	169	74	135/80	174	71
0	120/75	193	89	120/80	193	84	120/80	188	84	120/90	190	86

Tabelle 20 (Stehperiode)
(Einzelwerte von 80 Probanden der 1. Reihe)

Nr.	1.Messung			2.Messung			3.Messung			4.Messung		
	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF
1	115/80	228	95	125/85	231	95	120/80	223	95	110/80	229	96
2	105/70	175	99	110/70	178	100	110/80	178	101	110/70	177	101
3	120/75	224	78	130/80	231	75	130/85	232	75	120/85	230	77
4	125/70	203	77	110/75	202	77	120/80	203	75	120/80	211	77
5	125/85	209	84	125/90	208	81	125/100	205	84	125/90	207	84
6	130/85	247	65	120/85	248	69	115/95	248	63	130/90	250	66
7	105/80	236	78	125/85	235	81	105/70	245	83	105/75	243	89
8	125/80	200	85	120/80	203	88	130/80	190	84	120/80	203	102
9	130/90	238	71	115/75	240	71	120/90	243	77	120/90	241	75
10	155/90	175	71	140/95	193	74	145/85	185	74	150/85	187	74
11	120/80	189	85	110/80	198	89	130/80	190	96	130/80	190	92
12	120/80	218	86	115/80	222	83	110/75	215	86	110/75	215	86
13	140/100	210	76	125/85	215	77	140/110	223	77	155/115	228	77
14	110/75	220	99	120/100	225	98	105/80	213	94	115/75	221	101
15	110/85	210	65	160/110	208	68	110/80	211	65	110/85	219	71
16	130/85	213	86	135/95	208	96	120/80	210	89	130/90	212	88
17	125/95	215	95	120/95	221	91	120/95	223	95	125/100	225	91
18	160/110	175	81	135/70	190	84	145/100	196	84	145/105	196	84
19	120/95	221	76	115/80	225	76	130/105	225	80	140/110	225	77
20	120/105	232	78	130/85	234	75	130/105	240	74	130/105	240	77
21	125/65	198	101	125/80	198	101	130/90	194	104	130/90	197	105
22	110/75	217	88	130/95	222	92	105/80	220	95	105/85	221	96
23	125/80	210	89	130/85	210	89	120/90	210	88	125/80	212	91
24	130/85	201	85	125/80	195	88	115/75	195	88	120/85	190	94
25	125/80	208	77	130/95	210	74	130/90	225	84	130/95	237	78
26	115/85	201	90	110/80	202	86	120/80	195	91	120/90	195	92
27	130/90	227	103	135/95	233	104	120/95	234	104	115/95	233	108
28	135/90	211	90	135/100	211	92	135/100	211	91	130/85	208	94
29	120/100	200	80	115/90	195	84	120/95	197	84	115/95	197	84
30	120/75	190	86	120/75	204	78	115/85	182	82	120/80	178	82
31	100/80	215	98	115/75	210	98	115/90	213	96	110/85	210	100
32	135/95	180	88	135/95	168	80	125/95	175	84	130/90	165	84
33	115/80	214	104	120/85	222	105	125/90	225	98	115/85	228	97
34	130/95	158	103	125/95	160	104	130/95	170	102	125/95	172	108
35	115/95	245	83	120/90	241	85	125/95	247	83	120/90	249	80
36	120/80	189	77	125/80	191	72	120/80	193	83	120/80	193	83
37	130/90	215	80	130/90	207	77	130/100	217	78	130/100	217	78
38	130/100	193	74	135/100	195	81	120/95	197	83	130/100	197	83
39	120/90	211	84	120/95	203	91	115/90	209	85	115/95	211	85
40	120/90	201	72	115/85	203	83	115/90	201	72	115/90	202	85
41	120/75	240	74	120/90	230	73	120/95	241	71	115/90	243	74
42	135/95	198	60	130/95	206	62	110/80	209	55	135/95	201	62
43	120/80	223	77	125/85	220	77	125/85	220	74	105/85	212	81
44	125/85	197	78	120/85	195	83	140/95	219	94	120/90	215	95
45	125/90	228	74	130/100	232	71	120/90	227	66	140/100	221	85
46	120/85	219	58	125/85	222	62	130/100	221	61	125/90	218	66
47	130/90	212	107	130/95	210	102	110/90	198	105	125/90	192	108
48	120/90	220	74	120/90	231	71	110/90	232	76	110/85	239	75
49	120/90	212	84	115/90	215	85	110/85	231	86	110/85	231	86
50	125/85	192	81	120/90	177	81	115/85	187	75	110/85	195	81

Tabelle 20 (Stehperiode)-Fortsetzung
(Einzelwerte von 80 Probanden der 1. Meßreihe)

Nr.	<u>1.Messung</u>			<u>2.Messung</u>			<u>3.Messung</u>			<u>4.Messung</u>		
	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF
51	120/65	198	71	120/70	197	69	115/65	196	72	110/65	192	70
52	115/90	169	108	120/95	156	109	125/80	162	108	120/100	170	121
53	120/90	244	101	120/90	247	92	115/90	247	84	115/90	247	84
54	105/85	190	72	105/85	193	78	95/85	193	83	95/80	185	81
55	140/95	225	80	135/90	220	81	135/90	230	76	145/100	210	98
56	135/85	202	100	130/85	202	100	105/85	204	94	100/80	204	98
57	110/85	201	83	120/85	209	88	105/85	205	88	110/80	225	89
58	120/90	208	75	120/85	208	72	120/90	211	77	110/90	211	78
59	110/85	208	74	125/95	210	75	115/80	215	77	100/85	217	74
60	150/125	185	91	155/120	185	92	150/115	184	98	145/105	180	94
61	115/85	202	104	125/80	205	102	110/85	206	105	115/80	210	105
62	125/80	197	80	120/90	237	85	115/85	215	83	120/100	238	86
63	140/100	240	92	145/110	239	96	140/110	239	96	135/105	240	98
64	120/80	185	75	120/85	189	82	115/85	187	81	120/80	188	80
65	110/90	245	95	110/95	243	89	110/85	225	91	115/90	241	88
66	115/90	215	83	120/100	213	88	120/100	219	91	125/90	221	95
67	120/85	213	75	120/80	216	74	120/80	216	70	115/90	218	74
68	100/80	231	105	105/80	243	120	125/95	245	100	120/95	244	108
69	120/90	217	91	115/100	225	96	120/95	225	88	120/95	204	94
70	125/85	189	60	125/90	177	69	120/90	186	62	120/90	180	67
71	110/65	225	67	100/80	225	65	100/70	231	72	105/80	236	75
72	125/80	237	86	120/75	240	91	115/80	243	94	115/85	241	98
73	125/90	215	59	125/85	230	68	130/85	229	72	130/85	237	74
74	155/95	211	76	135/100	209	80	135/100	212	75	130/100	210	82
75	120/95	238	92	120/90	225	104	110/90	223	88	120/90	219	91
76	125/95	203	84	135/90	213	83	125/95	204	83	125/90	208	83
77	125/80	225	80	130/90	221	78	130/95	225	75	135/90	187	80
78	115/90	196	94	130/90	195	96	125/90	189	100	130/90	196	94
79	140/100	175	91	140/105	181	85	130/105	174	88	135/95	174	88
80	120/90	201	105	115/90	199	108	105/95	211	110	110/90	204	115

Tabelle 21 (Angabe von Name, Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht für 20 Probanden der 2. Meßreihe)

Nr.	Name	Geschl.	Alter Jahre	Größe cm	Gewicht kg
1	M.Z.	m	25	181	68
2	H.H.	m	22	184	65
3	P.H.	m	23	179	80
4	D.H.	w	24	180	58
5	D.S.	m	27	192	81
6	B.K.	m	23	176	65
7	G.V.	w	26	168	50
8	U.S.	m	23	196	85
9	S.M.	w	20	173	57
10	E.G.	m	27	182	79
11	A.S.	m	27	180	73
12	S.B.	w	20	169	65
13	B.W.	w	24	172	57
14	H.D.	m	22	178	69
15	R.P.	w	25	175	62
16	B.F.	m	26	176	71
17	B.G.	m	25	176	85
18	R.J.	m	27	177	62
19	M.N.	m	23	180	68
20	H.R.	m	23	178	71

Tabelle 22 (Liegeperiode v o r 40 Kniebeugen)
(Einzelwerte von 20 Probanden der 2. Meßreihe)

Nr.	<u>1.Messung</u>			<u>2.Messung</u>			<u>3.Messung</u>			<u>4.Messung</u>		
	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF
1	145/80	175	75	140/85	175	77	145/80	174	73	150/85	152	81
2	140/75	205	60	125/80	200	59	125/70	195	59	125/70	191	63
3	150/90	205	65	140/85	205	60	140/90	210	60	135/90	209	62
4	125/75	148	83	120/75	147	83	120/75	142	83	125/70	142	80
5	135/80	131	72	135/85	133	74	130/90	131	73	130/90	136	75
6	125/85	228	46	120/75	228	46	125/80	230	45	125/80	221	44
7	115/70	189	79	115/70	187	72	115/70	188	75	110/65	195	71
8	125/85	190	58	130/85	182	58	130/85	184	59	130/85	186	58
9	115/70	187	48	110/70	194	48	110/70	190	49	110/75	188	50
10	155/110	130	70	165/110	123	71	160/110	127	74	155/110	123	74
11	130/65	185	77	130/65	173	74	130/70	185	75	140/70	180	77
12	115/80	187	73	120/75	192	71	115/75	192	72	120/75	197	67
13	105/60	181	80	110/70	183	79	105/65	185	77	100/65	185	76
14	135/95	169	72	135/95	175	72	135/90	181	70	130/90	185	70
15	140/80	184	94	135/90	190	94	135/80	182	96	135/80	182	96
16	125/70	138	63	130/70	139	64	135/75	140	61	135/75	147	54
17	155/95	190	67	155/100	193	66	155/100	197	64	150/105	215	63
18	130/90	173	69	135/90	172	66	140/85	160	65	135/85	165	65
19	140/85	189	89	135/85	186	88	135/85	185	89	135/85	205	91
20	150/85	191	69	150/75	183	65	150/80	185	65	145/85	181	65

Tabelle 23 (Liegeperiode n a c h 40 Kniebeugen)
 (Einzelwerte von 20 Probanden der 2. Meßreihe)

Nr.	<u>1.Messung</u>			<u>2.Messung</u>			<u>3.Messung</u>			<u>4.Messung</u>		
	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF
1	190/50	143	151	180/75	145	112	170/70	148	113	160/70	150	107
2	160/80	121	141	160/70	124	100	140/60	125	76	135/65	157	68
3	210/50	115	144	185/70	152	80	170/70	158	74	165/75	165	68
4	170/70	130	156	160/65	159	122	145/60	167	108	130/60	175	96
5	195/60	143	144	185/80	145	104	170/80	151	91	160/80	160	88
6	180/60	130	125	170/65	151	72	160/70	167	54	150/80	173	52
7	155/55	125	134	145/60	126	107	135/60	133	102	130/55	139	101
8	185/70	127	158	165/70	139	85	155/70	155	68	140/70	164	71
9	160/65	121	141	155/65	128	77	140/60	133	65	135/60	138	62
10	210/90	117	144	195/105	135	83	180/105	140	80	175/110	145	81
11	190/60	125	144	180/60	129	88	180/60	130	94	175/60	131	89
12	150/70	127	122	140/65	129	121	135/55	140	100	125/60	152	89
13	140/60	125	139	135/60	132	106	130/60	135	101	125/65	140	92
14	200/80	125	140	180/90	143	94	160/80	151	86	150/80	160	83
15	180/80	126	154	180/85	127	148	160/80	130	124	160/75	133	113
16	195/75	97	138	175/80	109	80	170/75	106	69	165/80	125	73
17	220/80	127	154	200/90	146	92	180/90	155	74	170/95	163	70
18	185/80	121	141	170/70	142	92	165/65	144	78	155/55	151	71
19	170/80	142	131	160/90	164	86	155/85	165	85	150/90	172	93
20	200/65	145	152	195/80	154	94	180/70	159	84	165/70	159	80

Tabelle 23 (Liegeperiode n a c h 40 Kniebeugen) - Fortsetzung
 (Einzelwerte von 20 Probanden der 2. Meßreihe)

Nr.	<u>5.Messung</u>			<u>6.Messung</u>			<u>7.Messung</u>		
	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF	RR	PWZ	PF
1	165/70	154	107	155/70	164	105	155/75	166	94
2	135/65	168	72	125/65	175	73	125/70	165	70
3	150/80	175	69	145/80	183	66	140/80	191	65
4	130/70	173	96	130/70	179	96	125/70	170	100
5	150/85	169	86	145/90	177	89	140/85	182	85
6	145/75	190	51	135/80	200	47	135/80	197	48
7	120/55	152	96	115/65	160	95	115/70	166	95
8	135/75	170	71	135/75	174	72	130/80	190	68
9	130/60	148	60	125/65	152	65	120/70	184	65
10	175/115	149	81	175/110	159	81	165/120	163	80
11	165/60	139	89	150/65	150	88	145/70	156	85
12	110/75	168	80	105/70	171	81	105/75	195	75
13	115/65	144	91	110/60	148	89	100/60	162	85
14	140/85	174	83	135/90	179	84	135/90	185	83
15	140/75	141	112	140/80	149	111	135/80	153	112
16	150/70	125	61	140/80	139	66	130/80	141	75
17	165/95	170	76	160/105	193	80	150/105	193	76
18	145/65	155	68	140/70	175	69	135/85	183	68
19	150/80	173	89	155/85	181	94	145/80	185	87
20	155/60	163	77	150/65	169	74	150/70	176	73

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- 1 ARNDT J.O. :
 Über die Mechanik der intakten A. carotis communis
 des Menschen unter verschiedenen Kreislaufbe-
 dingungen
 Arch.Kreislaufforsch. 59 , 153 - 197 (1969)

- 2 ARNDT J.O. , KOBER G. , MERSCH F. :
 Die Elastizitätskoeffizienten menschlicher Arterien
 in vivo , abgeleitet auf Grund unblutiger Messung
 des Arterien durchmessers mit dem Ultraschall-Echo-
 Verfahren
 Verh.Dtsch.Ges.Kreislaufforsch. 35 , 321 - 326 (1969)

- 3 BARBEY K. , BARBEY P. :
 Die Blutvolumenverschiebung in die unteren Extre =
 mitäten bei der akuten orthostatischen Kreislauf =
 belastung
 Med.Welt 33 , 1693 - 1698 (1966)

- 4 BARBEY K. , BRECHT K. , KUTSCHA W. :
 Über die orthostatische Sofortregulation
 Med.Welt 17 , 1648 - 1653 (1966)

- 5 BOUCKE H. , BRECHT K. :
 Ein neuer elektrischer Pulsschreiber
 Dtsch.Med.Wochenschr. 77 , 562 - 563 (1952)

- 6 BRAMWELL J.C. , MILL A.V. , MC SWINEY B.A. :
 The Velocity of the Pulse Wave in Man in Relation
 to Age as measured by the Hot-Wire Sphygmograph
 Heart , 10 , 233 - 255 (1923)

- 7 BRÖMSER Ph. , RANKE O.F. :
Über die Messung des Schlagvolumens des Herzens auf
unblutigem Weg
Z.Biol. 90 , 467 - 507 (1930)

- 8 BUDECKE E. :
Angiochemische Alterswandlungen des Aortenbinde =
gewebes
Verh.Dtsch.Ges.Kreislaufforsch. 24 , 143 - 154 (1958)

- 9 BUHR G. :
Zur Diagnostik orthostatischer Kreislaufregulations =
störungen mittel Plethysmographie und Phonokardio =
graphie
Z.Kreislaufforsch. 59 , 605 - 615 (1970)

- 10 CACHOVAN M. :
Veränderungen der segmentären Pulswellengeschwin =
digkeit im Verlaufe der Arteriosklerose
Verh.Dtsch.Ges.Kreislaufforsch. 40 , 225 - 228 (1974)

- 11 CHRISTIAN P. , LANZINGER G. , MAYER H. , ZOLG H. :
Die Reaktionsmuster der Pulsfrequenz unter besonderer
Berücksichtigung der Kreislaufsofortregulation
Z.Kreislaufforsch. 59 , 508 - 517 (1970)

- 12 DE MAREES H. :
Zur orthostatischen Sofortregulation
Cardiology 61 (Suppl.1) , 78 - 90 (1976)

- 13 DONZELOT E. , MILANOWICH J.B. , MEYER-HEINZE A. :
Piezographie et diagraphie arterielle chez l'homme
normal
Arch.Mal.Coeur 43 , 1013 , (1950)

- 14 ELIAKIM M. , SAPOZNIKOW D. , WEINMANN J. :
Pulse wave velocity in healthy subjects and in
patients with various disease states
Am.Heart J. 82 , 448 - 457 (1971)

- 15 FRANK O. :
Der Puls in den Arterien
Z.Biol. 46 , 441 - 553 (1905)

- 16 FRANK O. :
Die Theorie der Pulswellen
Z.Biol. 85 , 91 - 130 (1926)

- 17 FRIESE G. , MECHELKE K. :
Über die Beziehung der Blutdruckamplitude zur
relativen QT - Dauer beim Lagewechsel vom Liegen
zum Stehen
Z.Kreislaufforsch. 44 , 296 - 299 (1955)

- 18 FUCHS M. :
Die Pulswellengeschwindigkeit unter normalen und
pathologischen Zuständen der Gefäße
Arch.Kreislaufforsch. 18 , 152 - 155 (1952)

- 19 GADERMANN E. , JUNGSMANN H. :
Klinische Arterienpulsschreibung
Lehrbuch und Atlas der unblutigen Sphygmographie
München , Barth , 1964

- 20 GAUER O.H.
Über Pulswellengeschwindigkeit in Aorta und Bein =
arterien des Menschen
Z.Kreislaufforsch. 28 , 7 - 16 (1936)

- 21 GAUER O.H. :
 Kreislauf des Blutes
in : GAUER/KRAMER/JUNG , Physiologie des Menschen ,
 Band 3 , München-Berlin-Wien , Urban & Schwarzenberg , 1972
- 22 GRASER F. :
 Die Pulswellengeschwindigkeit im frühen Kindesalter
 Klin.Wochenschr. 31 , 135 - 136 (1953)
- 23 GRASER F. :
 Der Kreislauf vom Säuglings- bis zum Pubertätsalter
in : LINNEWEH F. (Hrsg.) : Die physiologische Entwicklung des Kindes , S. 129 - 139 , Berlin-Göttingen-Heidelberg , 1959
- 24 HAMPEL H. , SPIELBERG C. , THRON H.L. , GOTZEN R. ,
 LOHMANN F.W. :
 Vergleichende Untersuchungen über die pulsatorischen
 Gefäßweitenänderungen im Gebiet der Carotidgabelung
 bei Normo- und Hypertonikern (Ultraschall-Echographie)
 Verh.Dtsch.Ges.Kreislaufforsch. 39 , 233 - 239 (1973)
- 25 HEYMAN F. :
 Comparison of Intra-arterially and Extra-arterially
 Recorded Pulse Waves in Man and Dog
 Acta.Med.Scand. 163 , 473 - 475 (1957)
- 26 HÜRTHLE K. :
 Gestaltung und Wirkung des Arterienpulses
 Arch.Kreislaufforsch. 14 , 96 - 154 (1944)
- 27 KEUTH U. , PEUSQUENS M. :
 Die hämodynamischen Kreislaufgrößen im Säuglings-
 und Kindesalter (Normwerte und vergleichende Untersuchungen)
 Z.Kinderheilk. 78 , 379 - 400 (1956)

- 28 MAUS L.J. , CLASING D. :
Untersuchungen zur Tagesrhythmik der Pulswellenge -
schwindigkeit beim Sportler
Int.Z.Angew.Physiol. 18 , 319 - 323 (1960)
- 29 KÖRNER M. :
Untersuchungen mit photoelektrischen Pulsabnehmern :
zur Wirkung von vasoaktiven Substanzen in Narkose
auf den Fingerpuls
Anaesthesist 23 , 209 - 215 (1974)
- 30 MAREY
La circulation du sang
Paris 1881
- 31 MARKS J. :
Pressure Pulse Velocity Measurement : An Index of
Thyroid Function
Ohio State Med.J. 71 , 544 - 547 (1975)
- 32 MC CAWLEY E.L. , LENOX H. , DICK H. , GRIFFIN R.P. ,
BELT J.A. :
Pulse transmission velocity studied in patients with
arteriosclerosis obliterans
Angiology 11 , 356 - 360 (1960)
- 33 MC DONALD D.A. :
Regional pulse-wave velocity in the arterial tree
J.Appl.Physiol. 24 , 73 - 78 (1968)
- 34 MELLEROWICZ H. , PETERMANN A. :
Untersuchungen über die Pulswellengeschwindigkeit
in der Aorta beim Trainierten in verschiedenen Alters=
stufen
Z.Kreislaufforsch. 45 , 716 - 724 (1956)

- 35 NORO T. :
Studies on the Propagation Velocity of the Pulse Wave
in Children
Part I : Healthy Children , 501 - 505
Part II : Heart Disease , 506 - 509
Jpn.Circ.J. 27 , 501 - 509 (1963)
- 36 PETERSON L.H. :
Certain physical characteristics of the cardiovascular
system
Feder.Proc. 11 , 762 - 766 (1952)
- 37 REIN H. , SCHNEIDER M. :
Der Blutkreislauf
in : Einführung in die Physiologie des Menschen
Begründet 1936 von H. Rein ; 16. Auflage
Berlin-Heidelberg-New York , Springer , 1973
- 38 REMINGTON J.W. :
Pressure-diameter relations of the in vivo aorta
Amer.J.Physiol. 203 , 440 - 448 (1962)
- 39 SCHELLONG F. , LÜDERITZ B. :
Regulation des Kreislaufs
Darmstadt , Steinkopf , 1954
- 40 SCHIMMLER W. :
Physiologie und Pathophysiologie der arteriellen
Pulswellengeschwindigkeit
Verh.Dtsch.Ges.Kreislaufforsch. 40 , 61 - 73 (1974)
- 41 SCHIMMLER W. :
Über die Beziehung zwischen der Pulswellengeschwindig-
keit in der Aorta-Iliaca und dem Blutdruck bei longi-
tudinaler Beobachtung
Basic Res.Cardiol. 70 , 46 - 57 (1975)

- 42 SCHIMMLER W. :
 Untersuchungen zu Elastizitätsproblemen der Aorta
 (Statistische Korrelation der Pulswellengeschwin-
 digkeit zu Alter, Geschlecht und Blutdruck)
 Arch.Kreislaufforsch. 47 , 189 - 233 (1965)
- 43 SCHIMMLER W. , HOOFFACKER M. :
 Spontane Blutdruckänderung und aortale Pulswellen =
 geschwindigkeit bei Normotonikern (Ergebnisse einer
 Langzeitstudie an 183 Männern)
 Basic Res.Cardiol. 70 , 521 - 530 (1975)
- 44 SCHÜTZ E. :
 Physiologie des Menschen
 Berlin-Göttingen-Heidelberg , Springer , 1958
- 45 STEGEMANN J. :
 Beziehungen zwischen Trainingszustand und Ortho =
 stasetoleranz
 Cardiology 61 (Suppl.1) , 255 - 266 (1976)
- 46 STEPTOE A. , JOHNSTON D. :
 The Control of Blood Pressure Using Pulse-Wave
 Velocity Feedback
 J.Psychosom.Res. 20 , 417 - 424 (1976)
- 47 STEPTOE A. , SMULYAN H. , GRIBBIN B. :
 Pulse Wave Velocity and Blood Pressure Change :
 Calibration and Applications
 Psychophysiology 13 , 488 - 493 (1976)
- 48 THOMAS J.G. :
 A method for continuously indicating blood pressure
 J.Physiol. 129 , 75 - 76 (1955)

- 49 THOMAS J.G. :
Continuous Pulse Wave Velocity Recording for indi -
rectly Monitoring Blood Pressure in Man
Med. Electron.Engng. 3 , 321 - 322 (in : Letters
to the Editor) (1965)
- 50 VAN DER HOEVEN G.M.A. , DE NONCHY C. , BENEKEN J.E.W.
Systolic time intervals and pulse wave transmission
times in normal children
in : Studies on innocent praecordial vibratory murmurs
in children
Br.Heart J. 35 , 669 - 678 (1973)
- 51 WECKENMANN M. :
Der Puls-Atem-Quotient der orthostatisch Stabilen
und Labilen im Stehen
Basic Res.Cardiol. 70 , 339 - 349 (1975)
- 52 WEHN P.S. :
Pulsatory Activity of Peripheral Arteries
Oslo , Oslo-University-Press , 1957
- 53 WELTMAN G. , SULLIVAN G. , BREDON D. :
The Continuous Measurement of Arterial Pulse Wave
Velocity
Med.Electron.Biol.Engng. 2 , 145 - 154 (1964)
- 54 WETTERER E. :
Bau und Funktionen des Gefäßsystems
in : Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie
Hrsg. von W. D. Keidel , 3. Auflage
Stuttgart , Thieme , 1973

- 55 WETTERER E. , KELLER Th. :
Grundlagen der Dynamik des Arterienpulses
Berlin-Heidelberg-New York , Springer , 1968
- 56 WEZLER K. , BÜGER A. :
Der Einfluß der Gefäßmuskulatur auf den arteriellen
Windkessel
Z.Kreislaufforsch. 28 , 759 - 784 (1936)
- 57 WEZLER K. , BÜGER A. :
Die Dynamik des arteriellen Systems
Erg.Physiol. 41 , 292 - 606 (1939)
- 58 WEZLER K. , STANDL R. :
Die normalen Alterskurven der Pulswellengeschwindigkeit in elastischen und muskulären Arterien des
Menschen
Z.Biol. 97 , 265 - 276 (1936)
- 59 WILLIAMS J.G.L. , WILLIAMS B. :
Arterial Pulse Wave Velocity as a Psychophysiological
Measure
Psychosom.Med. 27 , 408 - 414 (1965)

Herrn Prof. Dr. U. Göbel danke ich für die
freundliche Überlassung des Themas .

Für die wertvollen Ratschläge bei der Anfer -
tigung dieser Arbeit danke ich Herrn Dr. H. von Voss .

LEBENS LAUF

Am 15. 1. 1954 wurde ich als Sohn des Kriminalbeamten Hans Sons und seiner Ehefrau Hubertine , geb. Höcker , in Essen geboren .

Nach vierjährigem Besuch der Volksschule in Düsseldorf , besuchte ich ab Ostern 1964 das Rethel - Gymnasium, wo ich 1972 das Abitur bestand .

An der Universität Düsseldorf studiere ich seit Wintersemester 1972/73 Medizin und seit dem Wintersemester 1974/75 Geschichte . Z.Z. befinde ich mich im sechsten klinischen Semester .

